

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

Кафедра «Электрические станции и электроэнергетические системы»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



подпись

И. В. Коваленко

« 8 » июня 2018г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02.04 – Электрические станции

Разработка стенда, моделирующего работу солнечной электростанции

Научный руководитель



А. В. Бобров

Выпускник

подпись, дата



подпись, дата

В. А. Жаринов

Красноярск 2018

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

Кафедра «Электрические станции и электроэнергетические системы»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



И. В. Коваленко

подпись

« 12 » 12 2018 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
В форме бакалаврской работы

Студенту: Жаринову Владимиру Андреевичу.

Группа: ФЭ14-03Б, *направление:* 13.03.02.04 – Электрические станции.

Тема выпускной квалификационной работы: «Разработка стенда, моделирующего работу солнечной электростанции».

Утверждена указом по университету: № 18149/с от 22.12.2017

Руководитель ВКР: Бобров Алексей Васильевич, доцент кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы», Политехнический институт.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- разработать проект стенда, моделирующего работу солнечных панелей разных типов, работающих непосредственно на потребителя и совместно с сетью; спроектировать электрическую схему;
- произвести расчет токов короткого замыкания; выбрать основную коммутационную аппаратуру и проводники; выполнить компоновку основных элементов в виде чертежей и 3D моделей;
- проработать вопросы безопасности проекта.

Перечень разделов ВКР:

- история развития и перспективы использования солнечной энергетики;
- технология изготовления и принцип действия солнечных элементов;
- выбор основного оборудования;
- схема автономной солнечной системы электроснабжения;
- расчет токов короткого замыкания;
- выбор коммутационных аппаратов, кабелей и шинных конструкций;
- экономическая часть проекта;
- компоновка оборудования ФЭУ;
- безопасность и экологичность проекта.

- шкаф имитации инсоляции
- общий вид стенда, моделирующего работу солнечной электростанции
- компоновка стенда.

Руководитель ВКР



Бобров А.В.

Задание принял к исполнению



Жаринов В.А.

« 18 » сентября 20 17 г.





РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «РАЗРАБОТКА СТЕНДА, МОДЕЛИРУЮЩЕГО РАБОТУ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ» содержит 85 страниц текстового документа, 26 рисунков, 12 таблиц, 30 использованных источников, 5 листов графического материала.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ, ПРОЕКТ СТЕНДА, МОДЕЛИРУЮЩЕГО РАБОТУ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, ГЛАВНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ, СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ, РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, КОМПОНОВКА СТЕНДА, ВЫБОР ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.

Целью данной выпускной квалификационной работы являлась разработка стенда, моделирующего работу солнечной электростанции, размещенного по адресу г. Красноярск, ул. Ленина, д.70, аудитория «А104».

В ходе работы выбраны: количество и тип солнечных панелей, инвертор, контроллер, аккумуляторная батарея, коммутационная аппаратура, прочее электрооборудование, составлена главная схема электрических соединений.

					СФУ ПИ ВКР – 13.03.02.04 – 071400543			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разработка стенда, моделирующего работу солнечной электростанции	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Жарина В.А.				У	5	85
Пров.		Бабров А.В.				Кафедра "ЭС и ЭЭС"		
Н.Контр.		Бабров А.В.						
Утв.		Коваленко И.В.						

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	8
1 История развития и перспективы использования солнечной энергетики..	9
1.1 История развития солнечной энергетики.....	9
1.2 История развития солнечной энергетики в России.....	12
1.3 Действующие солнечные электростанции России.....	14
1.4 Перспективы развития солнечной энергии и фотоэлектрических технологий.....	16
1.5 Использование солнечной энергетики для децентрализованного электроснабжения.....	21
2 Технология изготовления и принцип действия солнечных элементов	23
2.1 Явление фотоэффекта	23
2.2 Применение кремния для изготовления солнечных элементов	25
2.3 Монокристаллические и поликристаллические панели	27
3 Выбор основного оборудования	28
3.1 Существующие солнечные батареи.....	28
3.1.1 Солнечные фотоэлектрические модули в алюминиевой рамке	29
3.1.2 Прочие фотоэлектрические модули	30
3.2 Выбор типа фотоэлектрических модулей	30
3.2.1 Определение мощности ФЭ модулей, выбор их количества.....	36
3.2.2 Определение капитальных затрат.....	37
3.2.3 Определение удельных затрат на производство электроэнергии	38
3.3 Выбор аккумуляторной батареи.....	39
3.4 Выбор инвертора.....	44
3.5 Выбор контроллера заряда-разряда для фотоэлектрических систем.....	46
4 Схема автономной солнечной системы электроснабжения	50
4.1 Структурная схема	50
4.2 Электрическая схема	51
5 Расчет токов короткого замыкания	52
5.1 Определение параметров схемы замещения. Составление схемы замещения	52
5.2 Расчёт токов короткого замыкания для точки К-1	55

5.3	Расчёт токов короткого замыкания для точки К-2.....	56
5.4	Расчёт токов короткого замыкания для точки К-3.....	57
5.5	Расчёт токов короткого замыкания для точки К-4.....	58
6	Выбор коммутационных аппаратов, кабелей и прочих элементов.....	60
6.1	Выбор коммутационных аппаратов.....	60
6.1.1	Выбор автоматических выключателей и разъединителей.....	60
6.1.2	Выбор плавких предохранителей.....	62
6.2	Выбор кабельных линий.....	63
6.2.1	Выбор кабельной линии от ФЭМ.....	65
6.2.2	Выбор кабельной линии, соединяющей аккумуляторную батарею и инвертор.....	65
6.2.3	Выбор кабельной линии, соединяющую аккумуляторную батарею и инвертор.....	65
6.3	Выбор клеммных колодок.....	66
6.4	Выбор прочего оборудования, необходимого для моделирования солнечной электростанции.....	66
6.4.1	Выбор прожекторов, моделирующих инсоляцию.....	66
6.4.2	Выбор регулирующих диммеров.....	67
6.4.3	Выбор измерительных люксметров.....	68
7	Экономическая часть проекта.....	68
7.1	Расчет капитальных затрат.....	68
7.2	Определение основных технико-экономических показателей стенда...	71
9	Компоновка оборудования стенда.....	74
9.1	Внешний вид шкафа имитации инсоляции.....	74
9.2	Внешний вид пульта управления.....	74
9.3	Общая компоновка оборудования стенда.....	75
10	Безопасность и экологичность проекта.....	76
10.1	Защита от к.з., перегрузок и перенапряжений.....	76
10.2	Безопасность производственного оборудования.....	77
10.3	Безопасность элементов конструкции солнечной установки.....	78
10.4	Эргономика и техническая эстетика.....	79
10.5	Пожаробезопасность.....	79
10.6	Заключение о безопасности и экологичности проекта.....	80
	Заключение.....	81
	Список использованных источников.....	82

ВВЕДЕНИЕ

Очевидно, что мы живем в эпоху постмодернизма, или, как говорят многие исследователи, в постиндустриальном обществе.

Американский социолог Д. Белл отмечал следующие черты постиндустриального общества [1]:

- центральная роль теоретического знания;
- рост класса носителей знания (специалисты и профессионалы);
- институционализация науки, её «зрелое» состояние;
- технологический рост, особая значимость информационных технологий и др.

Опираясь на данные утверждения, логично предположить, что с ростом базы научных знаний растет и сфера их использования, возводятся новые города, открываются исследовательские центры, создаются различного рода предприятия, зачастую крайне энергоемкие. Все эти факторы ведут к росту потребления электроэнергии в мире. Например, в 2016 году мировое потребление электроэнергии превысило 20 тысяч ТВт·ч [2].

В наши дни основным источником энергии считаются химические топлива, получаемые из природных ископаемых: нефти, природного газа, угля. На данных ресурсах базируется экономика множества государств, темпы добычи растут пропорционально росту мирового населения, а значит с каждым днем мы приближаемся к истощению запасов топлива и, следовательно, к энергетическому кризису.

Данный факт подтверждает целесообразность разработок в следующих сферах:

- оптимизация энергопотребления;
- традиционные источники энергии и способы их добычи;
- альтернативные и нетрадиционные источники энергии.

Более того, с ростом числа загрязняющих факторов, особое внимание уделяется экологической составляющей предприятий, в том числе и энерго-

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

объектов, что является существенным аргументом в пользу нетрадиционной энергетики.

Развивая данную тему, хочется отметить, что одним из наиболее эффективных и хорошо себя зарекомендовавших источников возобновляемой энергии является солнечная энергия.

В наше время этот вид энергии получил достаточное распространение, солнечные модули используются повсеместно, начиная от выработки электроэнергии и передачи ее в энергосистему и заканчивая электроснабжением личных изолированных бытовых энергосистем, а также питанием электроприборов и мелкой техники и электроники.

Таким образом, полностью изолированных и автономных систем солнечного энергоснабжения становится всё больше, каждый из нас, так или иначе, сталкивается с этим ресурсом, а значит необходимо тщательно изучать системы подобного рода, особенно в рамках обучения студентов.

Целью данного дипломного проекта является разработка экспериментально-исследовательского стенда на основе солнечной электростанции, выполняющего демонстрационную и обучающую функцию, позволяющего в полной мере ознакомиться с процессом превращения энергии Солнца в электрическую энергию.

1 История развития и перспективы использования солнечной энергетики

1.1 История развития солнечной энергетики

Солнечная энергия освоена человеком с древнейших времен, ее использовали для нагревания воды, приготовления пищи, в странах Азии и Средиземноморья энергия Солнца применялась в целях отопления.

В XVIII веке наука совершила огромный скачок, что позволило продвинуться в изучении и применении солнечной энергии. Учёные из

Франции проводили опыты с использованием линз и различных резервуаров, были созданы первые солнечные коллекторы, нагреватели, насосы.

В 1839 году А. Беккерелем был открыт фотогальванический эффект, он экспериментировал с электролитическими ячейками, состоящими из хлорида серебра и кислотного раствора. На рисунке 1 представлено его фото.



Рисунок 1 – Антуан Беккерель рядом с испытательной установкой

Позже, в 1876 году в Лондоне У. Адамс и его ученик Р. Дей зафиксировали фотогальванический эффект при воздействии света на селен. КПД установки был крайне низкий, что означало невозможность использования подобной фотогальванической ячейки в целях электропитания, однако доказало возможность создания таких ячеек в принципе.

В 1883 году уже в Америке Ч. Фриттс создал подобную ячейку. Он внес изменение: покрыл селеновую основу тонким слоем золота. Данная мера увеличила КПД, но он все равно не превышал 1%. И все же такие модули были гораздо эффективнее предыдущих версий, и в следующем году на крыше одного из нью-йоркских зданий были установлены первые солнечные панели. Безусловно, материалы и производство обходились очень дорого, поэтому о широком распространении речи идти не могло.

В 1905 А. Эйнштейн объяснил явление внешнего фотоэффекта. В своей газетной статье он высказал, что свет несет в себе энергию, содержащуюся в крошечных частицах, которые он назвал «квантами света». Сейчас эти ча-

стицы известны нам как фотоны. Данное открытие принесло Эйнштейну Нобелевскую премию и сделало возможным создание фотоэлектрических панелей. Но для этого были необходимы разработки в сфере электроники, транзисторы и диоды.

Автором первых солнечных батарей стал фотохимик Д. Чамичан. Его фото на рисунке 2.



Рисунок 2 – Джакомо Чамичан

В 1954 году специалисты компании Bell Laboratories заявили о создании первых солнечных батарей на основе кремния для получения электрического тока [3]. Д. Чапин, К. Фуллер, Д. Пирсон создали первую фотовольтаическую ячейку и добились эффективности в 6%. Вскоре, панели такого рода были использованы для электропитания искусственных спутников земли. Фото коллег-изобретателей представлено на рисунке 3.



Рисунок 3 – Кельвин Соулзер Фуллер (Calvin Souther Fuller), Дэрил Чапин (Daryl Chapin) и Геральд Пирсон (Gerald Pearson)

После долгих лет исследований, медленной коммерциализации и других трудностей открылось множество исследовательских институтов, промышленные компании и корпорации начали серийное промышленное производство солнечных модулей. Финансирование программ начало поступать от государства, и солнечная энергетика стала единой прибыльной промышленной отраслью [3].

1.2 История развития солнечной энергетики в России

В России серьезных успехов в использовании энергии Солнца добились школы проф. Б. П. Вейнберга (1930-е годы) и акад. В. А. Баума (1940-1950-е годы). В 1958 г. на третьем советском искусственном спутнике Земли «Спутник-3» впервые в мире были установлены солнечные батареи, что положило начало применению фотоэлементов для непосредственного преобразования солнечной энергии в электрическую.

И всё же в промышленных аспектах наша страна уделяла гораздо более тщательное внимание атомной энергетике. Кроме того, правительство поощряло и продолжает поощрять использование ископаемых, таких как уголь,

нефть и газ. Да и в совокупности с климатическими особенностями нашей страны, а также сравнительной дешевизной электроэнергии, получаемой на ГЭС, КЭС и ТЭЦ, процент использования солнечной энергии весьма невелик.

Несмотря на это, Россия добилась немалых успехов в разработках солнечных модулей. Группа именно наших ученых под руководством Ж. И. Алферова придумала изготавливать солнечные панели на основе полупроводниковых гетеропереходов. Это многократно увеличило КПД батарей, и Алферов получил за это открытие Нобелевскую премию в 2000 году, его фотография – на рисунке 4 [3].



Рисунок 4 – Жорес Алферов

В настоящее время Россия обладает передовыми технологиями по преобразованию солнечной энергии в электрическую. Есть ряд предприятий и организаций, которые разработали и совершенствуют технологии фотоэлектрических преобразователей: как на кремниевых, так и на многопереходных структурах. Есть ряд разработок использования концентрирующих систем для солнечных электростанций.

По данным Института Энергетической стратегии, теоретический потенциал солнечной энергетики в России составляет более 2300 млрд. тонн условного топлива, экономический потенциал – 12,5 млн. т.у.т. Потенциал солнечной энергии, поступающей на территорию России в течение трех дней, превышает энергию всего годового производства электроэнергии в нашей стране.

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		13

Ввиду расположения России (между 41 и 82 градусами северной широты) уровень солнечной радиации существенно варьируется: от 810 кВт-час/м² в год в отдаленных северных районах до 1400 кВт-час/м² в год в южных районах. На уровень солнечной радиации оказывают влияние и большие сезонные колебания: на ширине 55 градусов солнечная радиация в январе составляет 1,69 кВт-час/м², а в июле – 11,41 кВт-час/м² в день [4].

Потенциал солнечной энергии наиболее велик на юго-западе (Северный Кавказ, район Черного и Каспийского морей) и в Южной Сибири, и на Дальнем Востоке.

Наиболее перспективные регионы в плане использования солнечной энергетики: Калмыкия, Ставропольский край, Ростовская область, Краснодарский край, Волгоградская область, Астраханская область и другие регионы на юго-западе, Алтай, Приморье, Читинская область, Бурятия и другие регионы на юго-востоке. Причем некоторые районы Западной и Восточной Сибири и Дальнего Востока превосходит уровень солнечной радиации южных регионов. Так, например, в Иркутске (52 градуса северной широты) уровень солнечной радиации достигает 1340 кВт-час/м², тогда как в Республике Якутия-Саха (62 градуса северной широты) данный показатель равен 1290 кВт-час/м²[5].

По разным оценкам, на данный момент в России суммарный объем введенных мощностей солнечной генерации составляет не более 5 МВт, большая часть из которых приходится на домохозяйства. Самым крупным промышленным объектом в российской солнечной энергетике является введенная в 2010 году солнечная электростанция в Белгородской области мощностью 100 кВт.

1.3 Действующие солнечные электростанции России

Установленная мощность и структура собственности электростанций приводится в соответствии с официальными годовыми отчётами генерирующих компаний. Полные перечни действующих СЭС по регионам России как

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		14

правило приводятся в Схемах и программах развития электроэнергетики соответствующего региона, разрабатываемых в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 17.10.2009 № 823 «О схемах и программах перспективного развития электроэнергетики».

По данным СО ЕЭС – системного оператора единой электроэнергетической системы России – суммарная установленная электрическая мощность солнечных электростанций ЕЭС России на 1 января 2017 года составляет 75,2 МВт или всего 0,03 % от установленной мощности электростанций энергосистемы [6].

В таблице 1 приведен список действующих электростанций.

Таблица 1 – Действующие СЭС

№	Название	Установленная мощность, МВт	Область
1	2	3	4
1	Орская СЭС им. А. А. Влазнева	40,0	Оренбургская область
2	Соль-Илецкая СЭС	25,0	Оренбургская область
3	Бурибаевская СЭС (1-я и 2-я очереди)	20,0	Республика Башкортостан
4	Майминская СЭС	20,0	Республика Алтай
5	Пугачёвская СЭС	15,0	Саратовская область
6	Бугульчанская СЭС (1-я, 2-я и 3-я очереди)	15,0	Республика Башкортостан
7	СЭС "Нива"	15,0	Астраханская область
8	Заводская СЭС	15,0	Астраханская область
9	Бичурская СЭС	10,0	Республика Бурятия
10	Плешановская СЭС	10,0	Оренбургская область
11	Грачевская СЭС	10,0	Оренбургская область
12	Волгоградская СЭС	10,0	Волгоградская область
13	Кош-Агачская СЭС (1-я и 2-я очереди)	10,0	Республика Алтай
14	Исянгуловская СЭС	9,0	Республика Башкортостан
15	Абаканская СЭС	5,198	Республика Хакасия
16	Усть-Канская СЭС	5,0	Республика Алтай
17	Переволоцкая СЭС	5,0	Оренбургская область

Окончание таблицы – 1

1	2	3	4
18	Орлов-Гайская СЭС	5,0	Саратовская область
19	Онгудайская СЭС	5,0	Республика Алтай
20	СЭС ООО «АльтЭнерго»	0,1	Белгородская область

1.4 Перспективы развития солнечной энергии и фотоэлектрических технологий

Основной проблемой современного этапа становления фотоэлектрической индустрии является достижение конкурентоспособности прямого преобразования солнечной энергии в электрическую с помощью солнечных элементов (СЭ) (по сравнению с традиционными способами генерирования электроэнергии). Фотоэлектрическая установка состоит из СЭ, объединенных в солнечные модули (СМ), инвертора напряжения, системы контроля и накопителя энергии. В качестве последнего используют аккумуляторные батареи или действующую электрическую сеть.

Солнечные электростанции могут быть использованы как для решения локальных энергетических задач, так и глобальных проблем энергетики.

При КПД солнечной электростанции (СЭС) 12% все современное потребление электроэнергии в России может быть получено от СЭС активной площадью около 4000 кв.км, что составляет 0.024% территории.

Наиболее практическое применение в мире получили гибридные солнечно-топливные электростанции с параметрами: КПД – 13,9%, температура пара – 371 °С, давление пара – 100 бар, стоимость вырабатываемой электроэнергии – 0,08-0,12 долл./кВт·ч, суммарная мощность в США 400 МВт при стоимости 3 долл./Вт. СЭС работает в пиковом режиме при отпускной цене за 1 кВт·ч электроэнергии в энергосистеме: с 8 до 12 час. – 0,066 долл. и с 12 до 18 час. – 0,353 долл. КПД СЭС может быть увеличен до 23% - среднего КПД системных электростанций, а стоимость электроэнергии снижена за счет комбинированной выработки электрической энергии и тепла [5].

На сегодня стоимость СЭ из кристаллического кремния составляет 2,5-3 долл./Вт, стоимость СМ 5-7 долл./Вт, стоимость фотоэлектрических установок 9-15 долл./Вт [7].

С учетом этого стоимость электроэнергии составляет 0,2 – 0,5 долл./кВт·ч, что сравнимо с действующими ценами на электроэнергию (0,03-0,125долл./кВт·ч).

По итогам тендера в Дубае в начале 2015 года на солнечное электричество была зафиксирована цена 58,4 долл. за МВт·ч. В результате чего организатор тендера, Dubai Energy and Water Authority (DEWA), даже увеличил в два раза – до 200 МВт – первоначальный размер проекта. За прошедшее с тех пор время, фиксировались случаи еще более низких цен по результатам тендеров, в том числе без государственной финансовой поддержки. Уже в 2016 г. в Перу была зафиксирована цена в 48 долл., в Мексике – 36 долл. за МВт·ч. Рекордной же на сегодняшний день является цена очередного тендера на 800 МВт в ОАЭ, где она составила 29,9 долл./МВт·ч (примерно 1,9 рублей за кВт·ч), при этом конкурирующие предложения подавались также с чрезвычайно низкими котировками – 36,5-45 долл./МВт·ч. Хорошей демонстрацией быстрого снижения стоимости солнечного электричества является случай с консорциумом инвесторов, выигравшим указанный выше тендер с ценой 58,4 долл. за МВт·ч. Менее чем через полтора года они пришли на новый тендер в том же Дубае с ценой уже 39,5 долл. за МВт·ч, т.е. ниже на 30% [8].

Минимальная заявляемая цена солнечных модулей сегодня составляет 0,37 долл./Вт (Китай), компания Canadian Solar обещает к 4 кв. 2017 цену в 0,29 долл./Вт. При этом на Европейском рынке установлен т.н. минимальный импортный тариф, согласно которому цена поставляемых в Европу иностранных модулей не может быть ниже 0,56 евро за ватт, что дает европейским производителям соответствующие преференции.

В текущем году установленная мощность солнечных электростанций в ЕС превысила 100 ГВт. Прогнозируется, что к 2020 г она увеличится до мин.

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		17

129,6 ГВт (пессимистичный сценарий) или макс. 170,9 ГВт (оптимистичный сценарий). Европа по итогам 2015 г. осталась самым «солнечным континентом» по объему установленной мощности, но в текущем году её вероятно опередит Азия.

К 2020 установленная мощность солнечных электростанций в мире уверенно достигнет 600 ГВт (по итогам 2015 – 229 ГВт), а в рамках оптимистичного сценария возможно и 700 ГВт (это три энергосистемы РФ по данному показателю) [8].

Современный уровень производства солнечных элементов соответствует начальной фазе их использования для освещения, подъема воды, телекоммуникационных станций, питания бытовых приборов в отдельных районах и в транспортных средствах. Стоимость солнечных элементов составляет 4,5-5 долл./Вт при стоимости электроэнергии 0,25-0,56 долл./кВт·ч. Солнечные энергосистемы заменяют керосиновые лампы, свечи, сухие элементы и аккумуляторы, а при значительном удалении от энергосистемы и малой мощности нагрузки - дизельные электрогенераторы и линии электропередач.

Данная тенденция наблюдается по всему миру. В таблице 2 указана выработка электроэнергии на СЭС по годам, на рисунке 5 указана установленная мощность мировых СЭС по данным 2012 года [9].

По данным на 1 января 2017 года в России солнечными электростанциями производится всего лишь 0,03% энергии. Такие низкие показатели обусловлены отчасти кризисом 90х годов, из-за которого учёные вынуждены были прекратить исследования (в 1980х гг. Советский Союз занимал в отрасли одну из ведущих позиций), отчасти — ресурсоориентированностью современной экономики [7].

Таблица 2 – Годовая выработка электроэнергии в мире на СЭС

Годовая выработка электроэнергии в мире на СЭС			
Год	Энергия ТВт·ч	Годовой прирост	Доля от всей
2004	2,6	—	0,01 %
2005	3,7	42 %	0,02 %
2006	5,0	35 %	0,03 %
2007	6,8	36 %	0,03 %
2008	11,4	68 %	0,06 %
2009	19,3	69 %	0,10 %
2010	31,4	63 %	0,15 %
2011	60,6	93 %	0,27 %
2012	96,7	60 %	0,43 %
2013	134,5	39 %	0,58 %
2014	185,9	38 %	0,79 %
2015	253,0	36 %	1,05 %
2016	301,0	33 %	1,3 %

Установленная мощность солнечной энергетики в 2012 году, ГВт



Источник: EPIA

Рисунок 5 – Установленная мощность мировых СЭС по данным 2012 года

Однако к настоящему моменту в России наблюдается исключительно позитивная тенденция развития солнечной энергетики, чтобы доказать это, достаточно посмотреть список проектируемых и строящихся станций, насчитывающий сейчас 57 объектов по всей стране.

Одной из наиболее перспективных технологий солнечной энергетики является создание фотоэлектрических станций с солнечными элементами на основе кремния, которые преобразуют в электрическую энергию прямую и рассеянную составляющие солнечной радиации с КПД 12-15%. Лабораторные образцы имеют КПД 23%. Мировое производство солнечных элементов превышает 50 МВт в год и увеличивается ежегодно на 30% [5].

В России более 10 предприятий и организаций разрабатывает и производит кремниевые СЭ и солнечные модули. Суммарная потенциальная производственная мощность указанных производств превышает 4 МВт/год. Однако эти мощности используются максимум на 20 % из-за отсутствия необходимого количества недорогих кремниевых пластин и вследствие низкой покупательной способности населения России. Свою продукцию способны экспортировать только те предприятия, где сравнительно невысока себестоимость производства высокоэффективных СЭ, среди них ВИЭСХ, ЗАО "Солнечный ветер", завод "Красное Знамя", ЗАО "Телеком", выпускающие СЭ мирового уровня качества с КПД до 15 %.

Если в России появится массовое производство недорогого кремния "солнечного" качества, то помимо указанных предприятий к производству СЭ и модулей могут подключиться незагруженные сейчас предприятия электронной промышленности, расположенные в Ставрополе, Александрове, Фрязино, Павловом-Посаде, Санкт-Петербурге, Орле, Нижнем Новгороде, Саратове и др. Имеющееся у них оборудование уже сегодня способно обеспечить уровень выпуска СЭ размером 10 x 10 см в количестве 2 млн. шт/год. Выработанная ими мощность будет зависеть от величины КПД, которая в свою очередь определяется уровнем технологии изготовления: при КПД 15 – 17 % она составит около 4 МВт. До 2005 г. объемы выпуска в России могут

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		20

вырасти до 2 – 3 МВт/год, а далее следует ожидать резкого роста: до 10 –15 МВт/год к 2010 г. и 30 – 50 МВт/год в 2015г.

Также одной из приоритетных задач развития отрасли является совершенствование технологии таким образом, чтобы максимально повысить коэффициент полезного действия таких электростанций, повысив эффективность преобразования солнечного света и снизив при этом потери. Как известно, внедрение передовых технологий на макроуровне требуют намного больше времени, чем освоение их же частными лицами. То есть уже сегодня в России можно встретить не просто дома в частном секторе, но целые подсобные хозяйства и фермы, работающие полностью на возобновляемых источниках энергии.

Такому положению дел способствует не только совершенствование законодательства и налоговые льготы, но соображения экономии, а также всё возрастающая сознательность граждан по отношению к окружающей среде и природным ресурсам.

1.5 Использование солнечной энергетики для децентрализованного электроснабжения

Возобновляемые источники энергии позволяют решать следующие задачи:

- снижение отрицательных воздействий традиционной энергетики;
- уменьшение использования органического топлива для производства энергии и сохранение его для химической промышленности;
- электроснабжение изолированных систем и районов.

Согласно последнему пункту, теоретически возобновляемая энергия способна осуществлять бесперебойное независимое электроснабжение труднодоступных и изолированных населенных пунктов или отдельных участков. Однако сейчас установка электрических станций на основе ВИЭ, в том числе и солнечных, экономически нецелесообразна, поскольку они имеют очень

высокий срок окупаемости. Кроме того, получаемая электроэнергия нестабильна и неравномерна, поэтому более эффективным будет установка дизельных электростанций.

Но если брать во внимание определенные погодные и географические условия, совместная установка дизельных ЭС и ЭС на возобновляемых источниках энергии позволяет существенно сэкономить на потребляемом дизельном топливе, снижая срок окупаемости станций и цену за кВт*ч мощности.

Если рассматривать непосредственно солнечные электростанции, то они являются одними из самых популярных и перспективных средств получения возобновляемой энергии и активно используются для децентрализованного энергоснабжения. В южных регионах активно практикуется использование солнечных коллекторов.

Если речь идет о небольшой изолированной системе, в которой используется в основном коммунально-бытовая нагрузка (освещение, бытовые приборы, садовый инвентарь), по типу частного дома, то имеет место автономная микро-СЭС, позволяющая полностью скомпенсировать текущее потребление электроэнергии. Такая система способна работать даже без дизельной установки, а при должной емкости аккумуляторов она способна осуществлять электроснабжение даже при неблагоприятных условиях в течение нескольких дней.

Такие системы подлежат тщательному изучению, проектирование подобных станций несет в себе прикладной характер, позволяющий студентам близко познакомиться со своей будущей профессией. Поэтому необходимо создание стенда, изучающего данные закономерности.

2 Технология изготовления и принцип действия солнечных элементов

2.1 Явление фотоэффекта

Прежде чем углубляться в изучение конструкции солнечных панелей и принципа их действия, необходимо рассмотреть основной принцип, лежащий в основе работы модулей, а именно явление фотоэффекта.

В 1900 г. немецкий физик М. Планк высказал следующую гипотезу: свет излучается и поглощается отдельными порциями – квантами (или фотонами). Энергия каждого фотона определяется формулой $E = h\nu$, где h – постоянная Планка, равная $6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с, ν – частота света. Гипотеза Планка объяснила многие явления: в частности, явление фотоэффекта, открытого в 1887 г. немецким ученым Г. Герцем и изученного экспериментально русским ученым А. Столетовым. Его опыт представлен на рисунке 6.

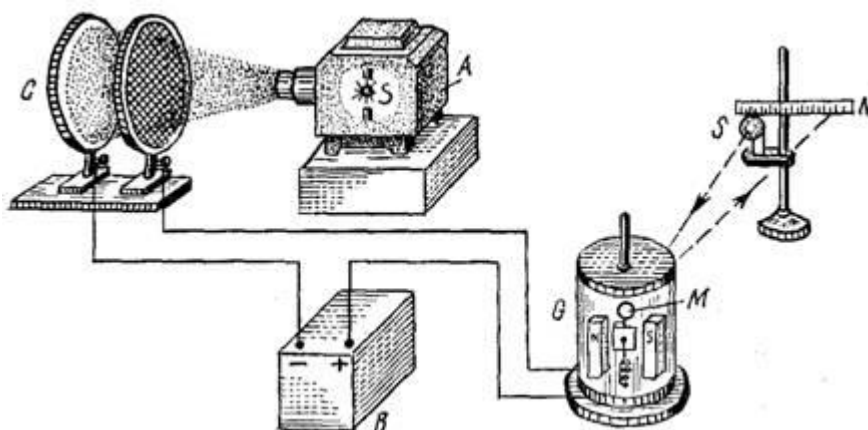


Рисунок 6 – Опыт Столетова

Таким образом, фотоэффект или фотоэлектрический эффект – испускание электронов веществом под действием света или любого другого электромагнитного излучения.

В результате исследований были установлены следующие эмпирические закономерности:

а) количество электронов, вырываемых светом с поверхности металла за 1 с, прямо пропорционально поглощаемой за это время энергии световой волны;

б) максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.

Также были установлены два основных фундаментальных свойства:

а) безынерционность фотоэффекта: процесс начинается сразу в момент начала освещения;

б) наличие характерной для каждого металла минимальной частоты ν_{min} – красной границы фотоэффекта. Эта частота такова, что при $\nu < \nu_{min}$ фотоэффект не происходит при любой энергии света, а если $\nu > \nu_{min}$, то фотоэффект начинается даже при малой энергии.

Как уже было ранее сказано, теорию фотоэффекта создал и объяснил А. Эйнштейн, в 1905 году. В основе теории Эйнштейна лежит понятие работы выхода электронов из металла и понятие о квантовом излучении света. По теории, фотоэффект имеет следующее объяснение: поглощая квант света, электрон приобретает энергии $h\nu$. При вылете из металла энергия каждого электрона уменьшается на определенную величину, которую называют работой выхода ($A_{вых}$). Работа выхода – это работа, которую необходимо затратить, чтобы удалить электрон из металла. Поэтому максимальная кинетическая энергия электронов после вылета (если нет других потерь) равна:

$$mv^2/2 = h\nu - A_{вых}$$

Следовательно,

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}.$$

Это уравнение носит название уравнения Эйнштейна.

Фотоэффект лежит в основе во множестве приборов, включая солнечные панели. Такие устройства называют фотоэлементами, простейший из них

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		24

– вакуумный фотоэлемент. Он применяется для измерения яркости и освещенности, для воспроизведения звука, управления различными процессами на производстве, а также в фототелеграфах и фототелефонах. Однако у него множество недостатков: слабый протекающий ток, малая чувствительность к длинноволновому излучению, невозможность использовать в цепях переменного тока, сложность в изготовлении.

Если уделять внимание непосредственно солнечным панелям, то в них используется полупроводники. Современные проводники состоят из кремния, который широко распространен в окружающем мире. Однако наиболее популярное соединение кремния – его оксид SiO_2 , который известен как речной песок. Однако выделение кремния из данного соединения – достаточно сложный и затратный процесс, по себестоимости сопоставимый, например, с добычей урана, который используется в качестве топлива для электростанций. И все же кремния на нашей планете гораздо больше, что является несомненным преимуществом.

Стоит также учесть, что в чистом виде кремний совершенно не проводит ток – его структура кристаллическая, у него четыре валентных электрона, связывающих атомы между собой. Следовательно, у атома нет свободных электронов, и для прохождения тока в исходное вещество вводятся примеси. Такой процесс называется легированием. Такой вопрос требует более детального рассмотрения.

2.2 Применение кремния для изготовления солнечных элементов

Источником энергии солнечного излучения служит термоядерная реакция на Солнце. Основная часть этой энергии испускается в виде электромагнитного излучения в диапазоне 0,2–3 мкм. Интенсивность солнечного излучения в свободном пространстве на расстоянии, равном среднему расстоянию между Землей и Солнцем, называется солнечной радиацией. Ее величина равна 1367 Вт/м^2 - Солнечная постоянная.

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		25

При прохождении через атмосферу солнечный свет ослабляется, в основном из-за поглощения инфракрасного излучения парами воды, ультрафиолетового излучения – озоном и рассеяния излучения молекулами газов и находящимися в воздухе частицами пыли, и аэрозолями. Максимальный поток солнечного излучения на уровне моря – 1020 Вт/м^2 [4].

Для преобразования солнечного излучения в электрическую энергию используются солнечные панели. Панель преобразователя состоит из двух тонких пластин из чистого кремния, сложенных вместе. На одну пластину наносят бор, а на вторую фосфор. В слоях, покрытых фосфором, возникают свободные электроны, а в покрытых бором – отсутствующие электроны. Под влиянием солнечного света электроны начинают движение частиц, и между ними возникает электрический ток. Чаще всего кремний легируют, используя процесс высокотемпературной диффузии. В результате на границе между областями в глубине полупроводника, легированными разными примесями, образуется сверхтонкая область раздела, называемая $p - n$ - переходом. Именно внутри этой области происходит преобразование света в электричество.

Чтобы снять ток с пластин их пропаивают тонкими полосками специально обработанной меди. Соответственно, чем больше площадь панели, тем больше энергии она вырабатывает. Спаянные между собой пластины, пропускающие УФ лучи, ламинируют пленкой и крепят на стекло. Скрепленные слои заключают в алюминиевую раму.

Коэффициент полезного действия панелей преобразователя зависит от нескольких факторов и для традиционных солнечных батарей не превышает 25%, хотя сейчас, используя следящую систему, можно достигнуть показателя и в 40-50 %. Эта система устроена так, чтобы батарея поворачивалась в сторону солнца. Также КПД зависит от материала модулей. Пластины изготавливают из монокристаллического, поликристаллического и аморфного кремния и пленок. Самые распространенные и популярные на сегодня (благодаря доступной стоимости) тонкопленочные панели. Они сделаны из тех

же материалов, но немного легче, правда, проигрывают по производительности. Максимальный КПД равен 25 %[10].

2.3 Монокристаллические и поликристаллические панели

На рисунке 7 представлены монокристаллические и поликристаллические панели.

Материалом для изготовления монокристаллических солнечных панелей является сверхчистый кремний. Стержни кремниевого монокристалла вытягиваются из кремниевого расплава, после чего разрезаются на части толщиной 0,2-0,4 мм. Далее следует обработка и изготовление фотоэлектрических элементов, входящих в состав солнечных панелей.

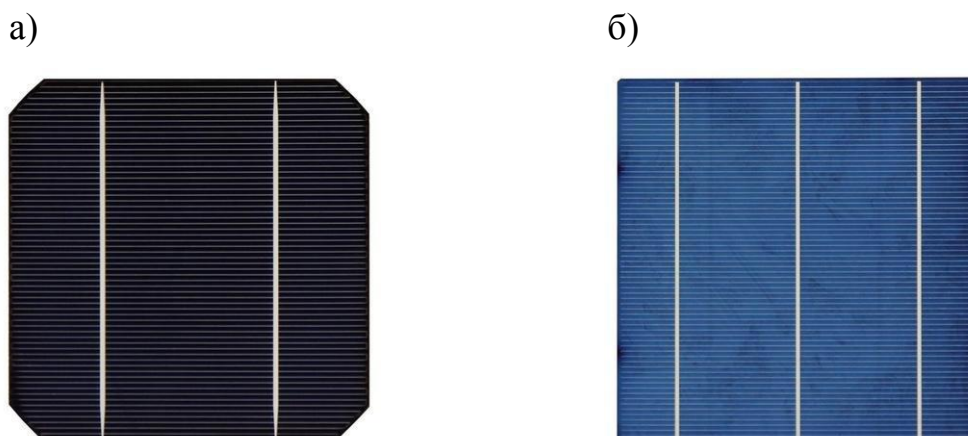


Рисунок 7 – Монокристаллические (а) и поликристаллические панели (б)

Практика использования современных солнечных панелей показала, что уже на протяжении многих лет одними из наиболее популярных и востребованных в мире являются монокристаллические солнечные панели. КПД монокристаллических панелей составляет примерно 17-22%, а в используемых в космических технологиях – до 38%.

Когда происходит медленное охлаждение кремниевого расплава, то из него получается поликристаллический кремний, использующийся для изготовления поликристаллических солнечных панелей. В этом случае операция вытягивания кристаллов кремния из расплава полностью опускается, а сам

процесс становится менее трудоемок, нежели при изготовлении монокристаллического кремния. Соответственно, такие солнечные батареи дешевле, но существенным недостатком поликристаллического кремния есть то, что он имеет области с зернистыми границами, которые ухудшают его качество.

КПД поликристаллических панелей составляет примерно 14-17% [10].

3 Выбор основного оборудования

3.1 Существующие солнечные батареи

При выборе солнечных панелей следует руководствоваться несколькими критериями. Основным является номинальная мощность панелей, при этом стоит учитывать, что стоимость панелей прямо пропорциональна мощности. Также немаловажны тип панелей, габариты, КПД.

Производятся модули 4 основных типов:

- модули в алюминиевой рамке и покрытые стеклом (рисунок 8, а);
- безрамочные ламинированные фотоэлектрические модули (облегченные) без стекла и клеммной коробки (рисунок 8, б);
- двусторонние модули (рисунок 8, в);
- гибкие монокристаллические модули (рисунок 8, г).



Рисунок 8 – Типы солнечных модулей

Производители обеспечивает все модули гарантией от механических повреждений в течение от 1 года до 5 лет. Также, на модули в металлической рамке и покрытые стеклом дается гарантия производителя от 10 до 20 лет на выработку минимум 90% от номинальной мощности.

В настоящее время предлагаются модули в алюминиевой рамке и со стеклянным покрытием мощностью от 10 до 230 Вт. Есть также облегченные модули на стеклотекстолите мощностью 5-6 Вт, 12-15 Вт и 22-24 Вт.

Напряжение модулей 6, 12 или 24В. Гибкие модули имеют мощность от 15 до 105 Вт и напряжение 12В. Другие типы модулей производятся под заказ.

Поскольку безрамочные, двусторонние и гибкие модули имеют увеличенную стоимость по сравнению с модулями в алюминиевой рамке за счёт дополнительных функций и возможностей, применение которых в данном проекте нецелесообразно и необоснованно, следует остановить выбор на первом типе солнечных панелей.

3.1.1 Солнечные фотоэлектрические модули в алюминиевой рамке

Модули данного типа выполнены в виде панели, заключенной в каркас из алюминиевого профиля, и имеют лицевую поверхность из специального закаленного стекла (исключение составляют только модули малой мощности до 30Вт), обеспечивающего наилучшие показатели по пропусканию света и защиту от внешних воздействий. К внутренней стороне корпуса модуля прикреплен блок терминалов, под крышкой которого размещены электрические контакты, предназначенные для подключения модуля.

При использовании специального стекла минимизируются потери в стекле, которые составляют около 15% при использовании обычного стекла. При этом мощность модулей одинакового размера отличается примерно на 15-20%. Цена модулей с закаленным стеклом немного выше за счет более дорогого стекла.

Ресурс каркасных солнечных модулей составляет более 30 лет. Гарантийный срок у разных производителей разный - от 1 года до 5 лет на механические повреждения и 10 – 20 лет на то, что мощность модуля не снизится за это время более, чем на 10%.

3.1.2 Прочие фотоэлектрические модули

Двусторонние модули могут быть использованы в любой фотоэлектрической установке. Чтобы получить существенную добавку к выработке, нужно освещать отраженным светом тыльную поверхность модуля. Такие модули обеспечивают существенное снижение стоимости пикового ватта мощности фотоэлектрической установки. За счет использования модулей с двухсторонней чувствительностью при освещении тыльной стороны отраженным светом можно получить примерно на 15-20% больше энергии с заданной площади модуля. Это ведет к меньшей материалоемкости как фотоэлектрической батареи, так и меньшей стоимости системы в целом. При обычной установке на крыше, можно получить прибавку до 5% (на светлой крыше).

Гибкие солнечные панели идеально подходят для установки и использования на катерах, яхтах и автомобилях. Благодаря гибкому материалу солнечная батарея может быть установлена даже на неровной поверхности с углом изгиба до 30 градусов. Для ее крепления не требуется сверление отверстий.

Помимо этого, батарея обладает другими преимуществами: водонепроницаемая конструкция, отсутствие деталей из стекла, небольшой вес, небольшая толщина панели не создает дополнительного сопротивления ветру. Однако данные преимущества напрямую ведут к увеличению стоимости.

3.2 Выбор типа фотоэлектрических модулей

На основании технических характеристик, а также из соображений экономичности предварительно выбираем два типа фотоэлектрических модулей, по две панели на каждый тип. Для сравнения были выбраны панели марок Sunways и Exmork.

1. Солнечная панель ФСМ-100М

Солнечная батарея 100 Вт ФСМ-100М монокристаллическая изготовлена из высокоэффективных монокристаллических солнечных элементов, что гарантирует повышенную производительность и надежность модуля. В про-

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		30

цессе производства используются только высококачественные и сертифицированные компоненты производителей с мировым именем и многолетним опытом работы в области солнечной энергетики.

Преимущества:

- изготовлена из высокоэффективных солнечных элементов производства Sunpower;
- солнечные модули серии ФСМ имеют положительный толеранс (0 ~ +6%);
- монокристаллические модули особенно хорошо работают при ярком солнечном свете и рекомендуются к установке в солнечных регионах;
- закаленное, текстурированное стекло высшего качества с высокой прозрачностью гарантирует повышенный КПД модуля, имеет большую прочность при ударах;
- высококачественный анодированный алюминиевый профиль с дренажными отверстиями и жесткой конструкцией предотвращает деформацию модуля в экстремальных погодных условиях.



Рисунок 9 – Солнечная батарея 100 Вт ФСМ-100М

Технические характеристики представлены в таблице 3.

Солнечная батарея 100 Вт ФСМ-100М монокристаллическая изготавливается из 36 монокристаллических солнечных элементов размером 125 x 125 мм. КПД солнечного модуля 15.3%, солнечного элемента 18.1%.

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		31

Производитель гарантирует сохранение заявленной мощности более чем 90% от номинальной мощности – в течение 10 лет, сохранение заявленной мощности более, чем 80% от минимальной номинальной мощности – в течение 25 лет [11].

Таблица 3 – Технические характеристики солнечной батареи 100 Вт ФСМ-100М.

Наименование параметров	ФСМ-100М
Пиковая мощность, Вт	100±6 Вт
Напряжение в точке максимальной мощности, В	18,6
Ток в точке максимальной мощности, А	5,38
Ток короткого замыкания, А	5,82
Напряжение холостого хода, В	22,6
Размеры (Ш×В×Г), мм	1209х539х35
Вес, кг	9,2
Стоимость, руб	5400

2. Солнечная батарея Exmork 100Вт 12В монокристалл

Данная панель имеет следующие преимущества:

- высокоэффективные солнечные элементы Exmork;
- рама из анодированного алюминия, предназначенная для эксплуатации вне помещений;
- закалённое стекло (светопроницаемость закалённого стекла: 97%);
- рабочий диапазон: от -40°C до +85°C;
- 12В DC-система.

Технические характеристики представлены в таблице 4.

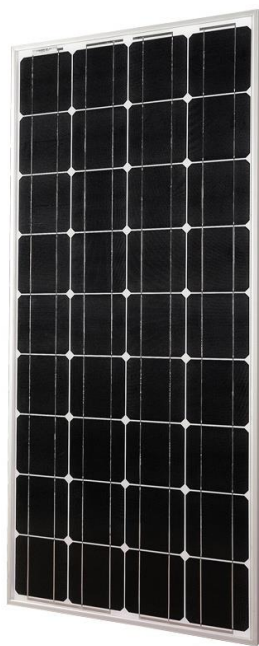


Рисунок 10 – Солнечная батарея Exmork 100Вт 12В монокристалл

Таблица 4 – Технические характеристики солнечной батареи Exmork 100Вт 12В монокристалл.

Наименование параметров	Exmork 100Вт 12В монокристалл
Пиковая мощность, Вт	100±6 Вт
Напряжение в точке максимальной мощности, В	18,53
Ток в точке максимальной мощности, А	5,40
Ток короткого замыкания, А	5,56
Напряжение холостого хода, В	23,96
Размеры (Ш×В×Г), мм	1199x551x35
Вес, кг	9,2
Стоимость, руб	6700

3. Солнечная панель ФСМ-100П

Солнечная батарея 100 Вт ФСМ-100П поликристаллическая используется как альтернативный источник для солнечного электроснабжения.

Солнечная батарея 100 Вт ФСМ-100П поликристаллическая изготовлена из высокоэффективных поликристаллических солнечных элементов, что гарантирует повышенную производительность и надежность модуля. Солнечный модуль изготавливается из 32 поликристаллических солнечных элементов размером 156 x 156 мм.

Для обеспечения автономным питанием загородного дома необходимо собрать комплект из основных составляющих: солнечная батарея, аккумуляторы, контроллеры заряда, инвертор. Солнечная батарея 100 Вт ФСМ-100П поликристаллическая за солнечный день вырабатывает 700 Вт.

Преимущества:

- высокоэффективные солнечные элементы Sunpower;
- высокая производительность при рассеянном свете обеспечивает повышенную выработку энергии при пасмурной погоде и в зимнее время;
- закаленное стекло солнечного качества обеспечивает его высокую прозрачность и гарантирует повышенный КПД модуля;
- высококачественный анодированный алюминиевый профиль с дренажными отверстиями и жесткой конструкцией предотвращает деформацию модуля в экстремальных погодных условиях [11].

Технические характеристики представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики солнечной батареи 100 Вт ФСМ-100П.

Наименование параметров	ФСМ-100П
Пиковая мощность, Вт	100±6 Вт
Напряжение холостого хода, В	21,7
Напряжение при работе на нагрузку, В	17,4
Ток при работе на нагрузку, А	5,75
Ток короткого замыкания, А	6,31
Размеры (Ш×В×Г), мм	1010x676x35
Вес, кг	8,6
Стоимость, руб	4600



Рисунок 11 – Солнечная батарея 100 Вт ФСМ-100П

4. Солнечная батарея Exmork 100Вт 12В поликристаллическая.

Преимущества:

- высокоэффективные солнечные элементы Exmork;
- рама из анодированного алюминия, предназначенная для эксплуатации вне помещений;
- закалённое стекло (светопроницаемость закалённого стекла: 97%);
- рабочий диапазон: от -40°C до +80°C;
- 12В DC-система.



Рисунок 12 – Солнечная батарея Exmork 100Вт 12В поликристаллическая

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ

Лист

35

Технические характеристики представлены в таблице 5.

Таблица 6 – Технические характеристики солнечной батареи Exmork 100Вт 12В поликристаллическая.

Наименование параметров	Exmork 100Вт 12В поликристаллическая
Пиковая мощность, Вт	100±6 Вт
Напряжение холостого хода, В	22,35
Напряжение при работе на нагрузку, В	17,5
Ток при работе на нагрузку, А	5,71
Ток короткого замыкания, А	6,14
Размеры (Ш×В×Г), мм	1040x670x35
Вес, кг	9,2
Стоимость, руб	4600

Солнечная батарея Exmork 100 Вт 12В поликристаллическая имеет срок службы не менее 30 лет, при потере номинальной мощности не более 10% [11].

3.2.1 Определение мощности ФЭ модулей, выбор их количества

Количество модулей определяется комплексно, по следующим показателям: график нагрузки потребителя, показатели солнечной радиации, угол наклона поверхности где расположены солнечные элементы.

Однако, согласно заданию, выбор осуществляется по номинальной мощности стенда, $P_{\text{ном}} = 400$ Вт.

Количество модулей для покрытия нагрузки:

$$N = \frac{P_{\text{max}}}{P_M}, \quad (1)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность стенда, Вт; $P_{\text{ном}} = 400$ Вт,

P_M – мощность фотоэлектрического модуля, Вт.

Необходимое количество модулей:

$$N = \frac{400}{100} = 4$$

Таким образом следует взять по два модуля ФСМ-100П и ФСМ-100М или Exmork 100Вт 12В монокристалл и поликристалл для осуществления возможности изучения характеристик монокристаллических и поликристаллических панелей.

3.2.2 Определение капитальных затрат

Капитальные затраты, руб.

$$K = C \cdot N + 3_{\text{смп}} , \quad (2)$$

где C – стоимость ФЭ модуля, руб

N – количество ФЭ модулей, Вт,

$3_{\text{смп}}$ – стоимость строительно-монтажных работ, руб. $3_{\text{смп}}=16\%C$ [16].

Расчет для ФЭ модулей ФСМ-100М, р:

$$K_1 = 5400 \cdot 2 + 0,16 \cdot 5400 = 11664$$

Расчет для ФЭ модулей ФСМ-100П, р:

$$K_2 = 4600 \cdot 2 + 0,16 \cdot 4600 = 9936$$

Расчет для ФЭ модулей Exmork 100Вт 12В монокристалл, р:

$$K_3 = 6700 \cdot 2 + 0,16 \cdot 6700 = 14472$$

Расчет для ФЭ модулей Exmork 100Вт 12В поликристалл, р:

$$K_4 = 4600 \cdot 2 + 0,16 \cdot 4600 = 9936$$

3.2.3 Определение удельных затрат на производство электроэнергии

Удельные затраты, руб.[10],

$$z_{уд} = \frac{K}{P} \quad (3)$$

где K – капитальные затраты на приобретение и установку ФЭ модулей,
 P – мощность ФЭ модуля, Вт

Расчет для ФЭ модулей ФСМ-100М, р:

$$z_{уд1} = \frac{11664}{200} = 58,32$$

Расчет для ФЭ модулей ФСМ-100П, р:

$$z_{уд2} = \frac{9936}{200} = 49,68$$

Расчет для ФЭ модулей Exmork 100Вт 12В монокристалл, р:

$$z_{уд3} = \frac{14472}{200} = 72,36$$

Расчет для ФЭ модулей Exmork 100Вт 12В поликристалл, р:

$$z_{уд4} = \frac{9936}{200} = 49,68$$

Сравнение вариантов по капитальным затратам,

$$\Delta z = \frac{z_{1+2} - z_{3+4}}{z_{3+4}} \cdot 100\% , \dots \dots \dots (4)$$

$$\Delta z = \frac{(14472+9936)-(11664+9936)}{14472+9936} \cdot 100\% = 11,50$$

Сравнение вариантов по удельным затратам, по (4):

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		38

$$\Delta Z = \frac{(72,36+49,68)-(58,32+49,68)}{72,36+49,68} \cdot 100\% = 11,50$$

По техническим характеристикам модули практически эквивалентны, $\Delta Z < 15\%$, но следует выбрать модули типа ФСМ-100, поскольку у них лучшие условия транспортировки и доставки.

3.3 Выбор аккумуляторной батареи

Поскольку поступление электроэнергии от панелей к потребителю несогласовано по величине и времени, то необходимо устройство, обеспечивающее бесперебойную работу в отсутствие питания с солнечных панелей. Поэтому в системах автономного солнечного энергоснабжения необходимо обязательное наличие аккумуляторных батарей, выполняющих функции накопления и стабилизации.

Электропотребление исследуемой системы сопоставимо с электропотреблением подобных систем, питающих бытовые электроприборы и освещение. $W_{\text{т.сут.}} = 7,33 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Для определения необходимой емкости аккумуляторной батареи переводим $W_{\text{т.сут.}}$ в показатель емкости аккумуляторных батарей (АБ) с учетом КПД АБ, $\text{А} \cdot \text{ч}$:

$$C = \frac{W_{\text{т.сут.}}}{U} \cdot K_{\text{КПД}}, \quad (5)$$

где $W_{\text{т.сут.}} = 7,33 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$,

U – напряжение установки, $U = 220 \text{ В}$,

$K_{\text{КПД}}$ – коэффициент, учитывающий КПД АБ.

$$C = \frac{7330}{220} \cdot 1,2 = 39,98$$

По требуемой емкости и техническим характеристикам выбираем аккумулятор глубокого разряда Delta GX12-40DG [11]. Технические характеристики представлены в таблице 7.

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		39

Таблица 7 – Технические характеристики аккумуляторной батареи

Наименование параметров	Prosolar-R RA12-40DG
Емкость, Ач	40
Размеры, мм	198x166x171
Вес, кг	13,5
Терминал	F11/F15
Макс. ток разряда, А	550
Макс. ток заряда, А	16,5
Внутреннее сопротивление, Ом	6,0
Цена, руб.	6800

Для набора требуемой емкости необходимо последовательно установить 1 элемент.

Аккумуляторы Delta GX серий D (AGM) специально предназначены для работы автономных и резервных системах электроснабжения.

Производителем аккумуляторов разработаны специальные формулы состава аккумуляторов, которые позволили достигнуть качества мировых лидеров в производстве аккумуляторных батарей, и при этом сохранить низкие цены. Более того, это один из немногих производителей свинцово-кислотных аккумуляторов, которых не применяет кадмий в своих батареях, тем самым сохраняя окружающую среду.

AGM (absorbed glass mate) аккумуляторы имеют в качестве сепаратора специальные стекловолоконные маты, пропитанные электролитом. В качестве активного материала используется особо чистый свинец, что в значительной мере снижает отрицательный эффект от примесей и загрязнений. Сепаратор представляет собой волокно из кислотостойких стеклянных нитей, которые действуют как губка, всасывающая кислоту и фиксирующая электролит; при этом обеспечивается свободный доступ электролита к электродам. Назначение сепаратора заключается в обеспечении зазора между положительными и отрицательными пластинами, что исключает возможность короткого замыкания, а также в создании условий взаимодействия активного материала электродов с электролитом.

Аккумуляторные батареи Delta GX – новый тип герметичных аккумуляторов с регулируемым клапаном, исключающих просачивание жидкости и не требующих обслуживания, с использованием технологии «Абсорбирующих стеклянных матов» (AGM разделителей). В этих аккумуляторах используются высококачественные маты из боро-силикатного стекла. Эти аккумуляторы сохраняют все основные достоинства гелевых аналогов, и в то же время могут работать в гораздо более сложных условиях. Также, как и гелевые, AGM-аккумуляторы не допускают утечки кислоты в случае поломки.

Основные особенности:

а) Неизменное качество и высокая надежность.

Аккумуляторы Delta GX хорошо известны стабильностью и надежностью своей работы. Они просты в обслуживании, при этом они обеспечивают безопасное и правильное функционирование оборудования. Эти аккумуляторы способны выдерживать перезаряд, глубокий разряд, вибрацию и удары. Они также могут длительное время находиться в режиме ожидания.

б) Герметичность конструкции.

Уникальная конструкция аккумуляторов Delta GX и технология опечатывания гарантируют невозможность утечки электролита из отверстий или корпуса устройства. Эта особенность позволяет аккумуляторам Delta GX эффективно и безопасно работать в любом положении. Аккумуляторы Delta GX -R классифицируются как «исключающие возможность утечки» и соответствуют требованиям Международной организации воздушного транспорта.

в) Длительный срок службы в буферном или циклическом режиме.

г) Функционирование, не требующее обслуживания.

В течение установленного времени работы аккумулятора в буферном режиме не нужно контролировать удельную массу электролита или добавлять воду. На самом деле, в обслуживании просто нет необходимости.

д) Клапанная система низкого давления.

Аккумуляторы Delta GX оснащены безопасной клапанной системой низкого давления, которая работает при давлении 0,07-0,42 атм. Эта система

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		41

предусмотрена для сброса избытка газа в том случае, если давление газа превысит нормальный уровень. Эта особенность предотвращает чрезмерное скопление газа в аккумуляторе. Клапанная система низкого давления в комбинации с необычайно высокой рекомбинационной эффективностью делают аккумуляторы Delta GX одними из самых безопасных герметичных свинцовых аккумуляторов.

е) Решетки усиленного типа.

Усиленные решетки из свинцово-кальциевых сплавов в аккумуляторах Delta GX обеспечивают дополнительный срок службы при применении и буферного, и циклического режимов работы, а также в условиях глубокого разряда.

ж) Низкий саморазряд.

Из-за использования решеток из свинцово-кальциевых сплавов аккумуляторы Delta GX могут долгое время находиться в резерве без подзаряда.

з) Deep Cycle (глубокое циклирование) [11].

Аккумулятор Delta GX 12-40D изображен на рисунке 13.



Рисунок 13 – Аккумулятор Delta GX 12-40DG

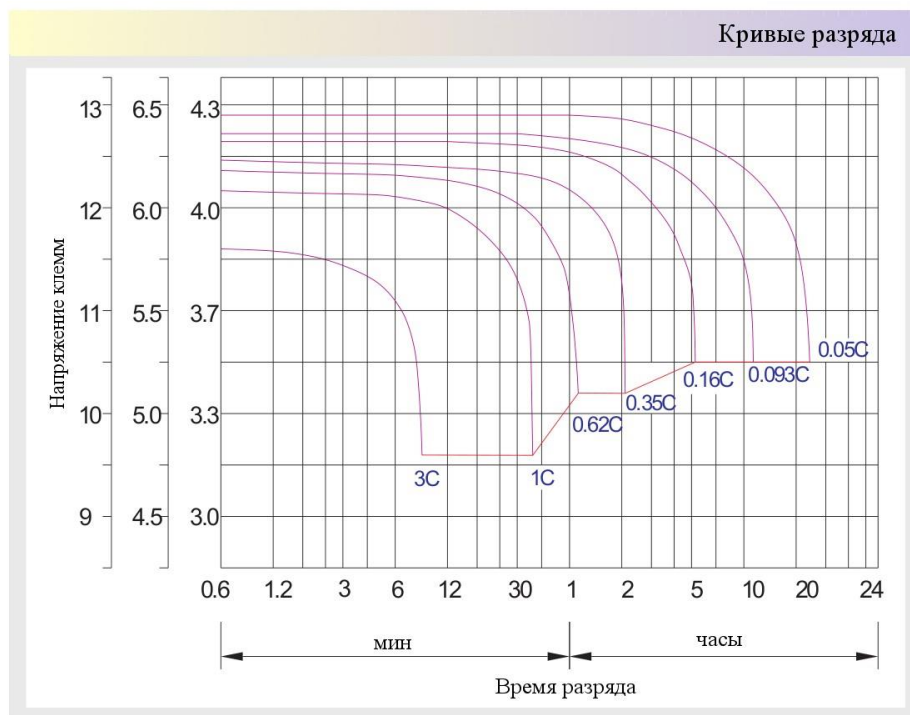


Рисунок 14 – Разрядные характеристики AGM аккумуляторов Delta GX

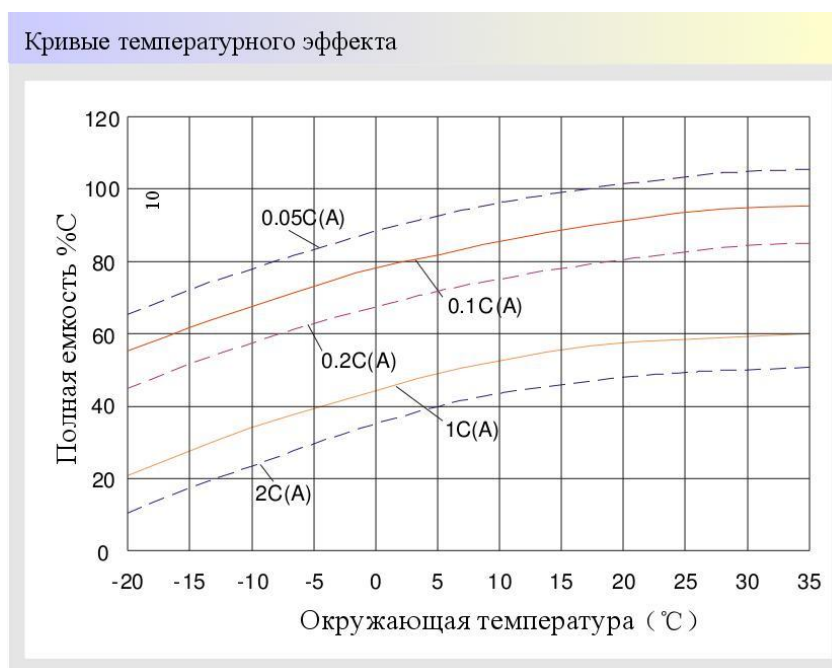


Рисунок 15 – Влияние температуры на полезную емкость аккумуляторов

3.4 Выбор инвертора

Инверторы служат для преобразования постоянного напряжения от солнечных модулей и аккумулятора в переменное напряжение 220-380 В.

Существуют инверторы, имеющие функции источника бесперебойного питания: в инвертор встроено зарядное устройство для подзаряда аккумуляторов при питании от сети, а также блок слежения за наличием и качеством сетевого напряжения; при его пропадании или выходе за значения установленных пределов, инвертор-ББП автоматически переключается на питание от аккумулятора.

Согласно заданию, выбираем инвертор-ББП А-Э СТРАЖ-3000, 1.6 КВт.

Компания «А-Электроника» выпускает ИБП «Страж-3000» с функцией дистанционного мониторинга и оповещения.

Эта модель использует специализированную серийно выпускаемую и проверенную платформу компании «А-Электроника» на основе сети из мощных контроллеров с ядром цифровой обработки сигналов (DSP). Характеристики собственно ИБП совпадают с возможностями модели DUALDSP-12-3000.

ИБП построен по фирменной технологии «ONLINE-OFFLINE» компании «А-Электроника», позволяющей совместить сильные стороны online и offline ИБП: широкий диапазон входных напряжений, высокие качественные параметры выходного напряжения и низкие потери энергии.

Полная долговременная мощность нагрузки до 3000ВА. Максимальная мощность сети, транслируемая ИБП, составляет 4.5КВт. Для защиты сети используется стандартный автоматический выключатель.

Интерфейс пользователя ИБП «Страж-3000» выполнен с использованием ЖКИ дисплея и четырехкнопочного модуля ввода. При работе ИБП отображаются все необходимые параметры, и имеется возможность настроить устройство под конкретную задачу с помощью системы программирования.

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Особенностью ИБП «Страж-3000» является специальный аппаратно-программный модуль, позволяющий реализовать функции дистанционного мониторинга и оповещения через множество каналов связи, таких как:

- сотовая связь. Используются сообщения SMS, сети GSM;
- электронная почта E-MAIL;
- связь через сеть INTERNET.

Реализованная система дистанционного мониторинга и оповещения решает следующие задачи:

- выдача текущих параметров удаленного ИБП по запросу пользователя;
- оповещение пользователя и выдача отчета при изменении состояния удаленного ИБП;
- запрос и изменение внутренних настроек ИБП.

Характеристики данного инвертора представлены в таблице 8 [11]. Инвертор показан на рисунке 16.

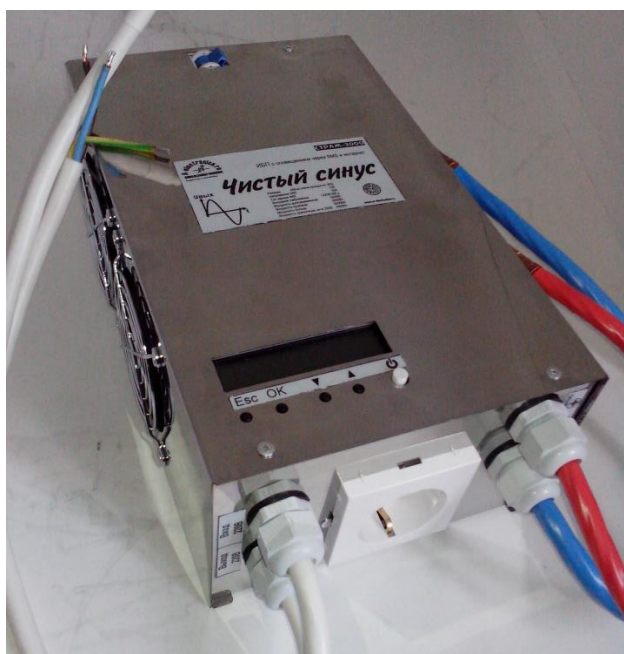


Рисунок 16 – Инвертор-ИБП «Страж-3000»

Таблица 8 – Характеристики инвертора

Параметр	мин.	ном.	макс.
1	2	3	4
Напряжение АКБ максимально допустимое, В	-	-	16
Напряжение АКБ рабочее, В	9,5	-	16
Ток потребления от АКБ долговременный, А	-	-	130
Максимальное напряжение сети, В RMS	-	-	280
Номинал автоматического выключателя сети 220В, А	-	20	-
Рабочая температура, град.С	-40	-	+40
Размеры, мм	-	100*160 *260	-
Масса, кг	-	-	2,9
Долговременная активная мощность нагрузки при входном напряжении 13,5В, Вт	-	-	1600
Пусковая мощность нагрузки, Вт	-	-	4000
Полная мощность реактивной нагрузки, ВА	-	-	3000
Коэффициент мощности нагрузки допустимый, PF	0	-	1
Допустимый косинус фазового угла нагрузки, cosf	0	-	1
Максимальный ток в режиме трансляции сети, А RMS	-	-	20
*Минимальное напряжение сети, В	100	-	210
*Максимальное напряжение сети, В	230	-	270
*Минимальная частота сети, Гц	45	-	49
*Максимальная частота сети, Гц	51	-	56
Время переключения АКБ-сеть, мс	-	-	0,5
Время переключения сеть-АКБ, мс	-	-	5

3.5 Выбор контроллера заряда-разряда для фотоэлектрических систем

Любая автономная система электроснабжения, содержащая в своем составе аккумуляторные батареи, должна иметь средства контроля заряда и разряда аккумуляторов.

Напряжения отключения нагрузки для свинцово-кислотных батарей обычно лежат в пределах от 10,5 до 11,5 В. Для 12 В аккумуляторных батарей при более чем 10-часовом разряде это означает использование от 100% до

20% номинальной емкости. При более быстрых разрядах количество отбираемой емкости уменьшается.

Контроллеры заряда для фотоэлектрических систем бывают 2-х основных типов - шунтовые и последовательные.

В шунтовых контроллерах солнечная батарея замыкается накоротко; таким образом, ток от солнечной батареи течет через шунт и не попадает в аккумулятор. Такой принцип работы не позволяет подключать ко входу

контроллера другие источники энергии, кроме фотоэлектрических батарей.

В последовательных контроллерах источник энергии отключается от аккумулятора и нагрузки. Напряжение на источнике энергии поднимается до значения напряжения холостого хода.

Наиболее сложные контроллеры умеют следить за точкой максимальной мощности фотоэлектрических батарей. Такие контроллеры называются MPPT контроллерами.

Выберем контроллер EPSolar Tracer MPPT 2210A [11]. Технические характеристики представлены в таблице 9, на рисунке 17 представлен контроллер.

Таблица 9 – Технические параметры контроллера

Максимальная мощность солнечных батарей	260 Вт при напряжении АКБ 12 В 520 Вт при напряжении АКБ 24 В
Максимальный ток заряда аккумуляторов, А	20
Максимальный ток нагрузки, А	20
Выключатель нагрузки	есть
Напряжение системы, В	12/24 (автоматически)
Температурная компенсация	-3mV/ °C/2V(25 °C)
Возможность подключения температурного датчика	опционально
Выбор типа аккумулятора	есть (AGM, GEL, Flooded)
Собственное потребление, мА	≤20mA(12V); ≤16mA(24V)
Цифровой дисплей	есть
Выносной цифровой дисплей	опционально
Максимальное сечение подключаемых проводов, мм ²	16
Рабочий температурный диапазон, °C	-35...+55
Влажность (без конденсата)	10...90%
Размеры, мм	220 x 154x 52
Вес, кг	1.1

Epsolar Tracer MPPT 2210A – контроллер заряда, используется для маломощных солнечных систем и систем средней мощности при токе заряда до 20 А и напряжении подключаемого АКБ 12/24 В. Контроллер оптимизирует процесс заряда от солнечных батарей, увеличивая продолжительность времени работы аккумуляторной батареи, повышая производительность системы. При подключении на 24В к Tracer MPPT 2210A можно соединить массив солнечных батарей на 520 Вт. При наличии необходимого количества аккумуляторов, в хороший солнечный день, Вы сможете запасти около 4 кВт электроэнергии.

В данном контроллерах применяется технология слежения за точкой максимальной мощности (MPPT) солнечных модулей. Алгоритм полностью автоматический и не требует вмешательства пользователя. Технология Tracer отслеживает точку максимальной мощности (maximum power point voltage) (V_{mp}) поскольку она меняется в течение дня в зависимости от погодных условий, что обеспечивает максимум получаемой энергии.

Модель имеет максимальное входное напряжение от солнечных батарей до 100 В. Контроллер имеет ограничитель по току, Вы сможете собрать систему из нескольких солнечных батарей большой мощности без опасений испортить прибор, и тем самым легче пройти пасмурные дни.

Контроллеры заряда EPSolar Tracer 2210A получили обновлённый дизайн защитного корпуса. Отметка RoHS в правом нижнем углу корпуса означает, что в его деталях не превышает допустимая европейская норма вредных веществ. Серия А является продолжением модельного ряда контроллеров Tracer EPSolar. Данную серию оснастили большим радиатором, на всю площадь тыльной поверхности, что позволяет контроллеру не перегреваться и корректно работать в самые жаркие и длинные дни. Контроллеры серии «А» получили встроенный монитор для настройки параметров солнечной электростанции и выбора типа аккумуляторных батарей. При этом остался RS485-COM и с помощью переходника RJ45-USB возможно подключиться к

Вашему смартфону, наладоннику, ноутбуку. Или подключить панель удаленного мониторинга МТ-50.

Особенности:

- передовая технология слежения за точкой максимальной мощности (MPPT), с эффективностью не менее 99,5%;
- высококачественные компоненты с максимальной эффективностью преобразования 98%;
- ультра-быстрая скорость отслеживания и гарантируется эффективность отслеживания;
- автоматическое ограничение функции максимальной входной мощности от солнечных батарей, гарантирует отсутствие перегрузки при любых обстоятельствах;
- широкий диапазон входных рабочих напряжений (до 100 В);
- автоматическая идентификация напряжения системы – 12/24 DC;
- встроенный ЖК-дисплей, для отображения динамики изменения входных параметров и общего рабочего состояния;
- несколько режимов управления нагрузкой: ручное управление, свет ON / OFF, Светится + Таймер и тестовом режиме;
- выбор типа АКБ: Герметичный, гель, кислотный;
- функция температурной компенсации батареи;
- функция статистики энергетики в реальном времени;
- интерфейс шины RS-485 и протокол связи Modbus;
- доступно для мониторинга с ПК и выносного дисплея (МТ50);
- обновление программного обеспечения.



Рисунок 17 – Контроллер OutBack FlexMAX- 80 MPPT

4 Схема автономной солнечной системы электроснабжения

4.1 Структурная схема

На основании исходных данных составим структурную схему фотоэлектрической установки (рисунок 18).

Фотоэлектрические модули (ФЭМ), соединяются в группу из 4 штук напряжением 12В. Параллельно с ФЭМ подсоединяется аккумулятор. Для преобразования постоянного напряжения в переменное используется инвертор, со встроенным устройством заряда аккумулятора и трансформатором, который повышает напряжение с 12 В до 220 В. К инвертору подключена нагрузка 220В. Нагрузка 12В подключена к контроллеру.

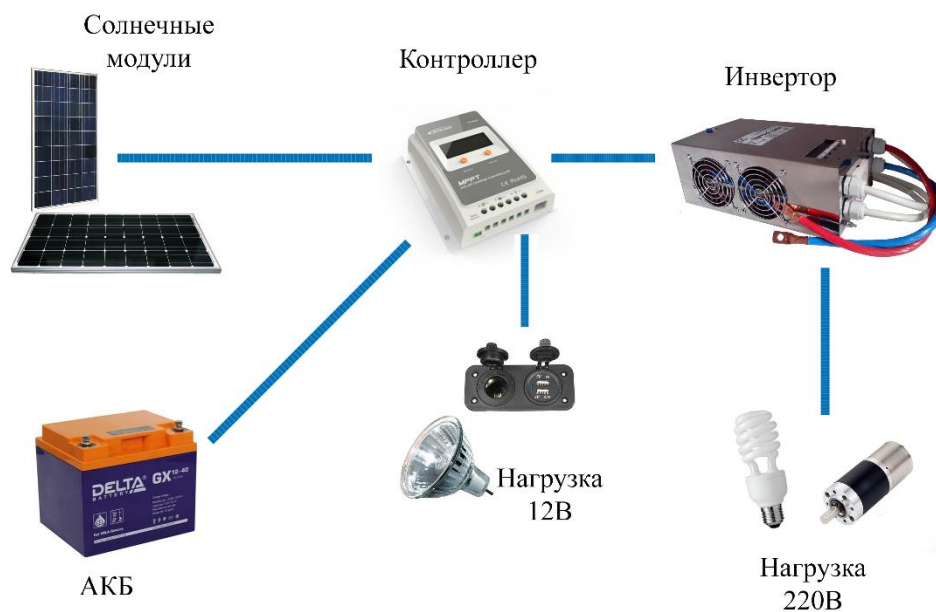


Рисунок 18 – Структурная схема

4.2 Электрическая схема

Электрическая схема стенда приведена на рисунке 19.

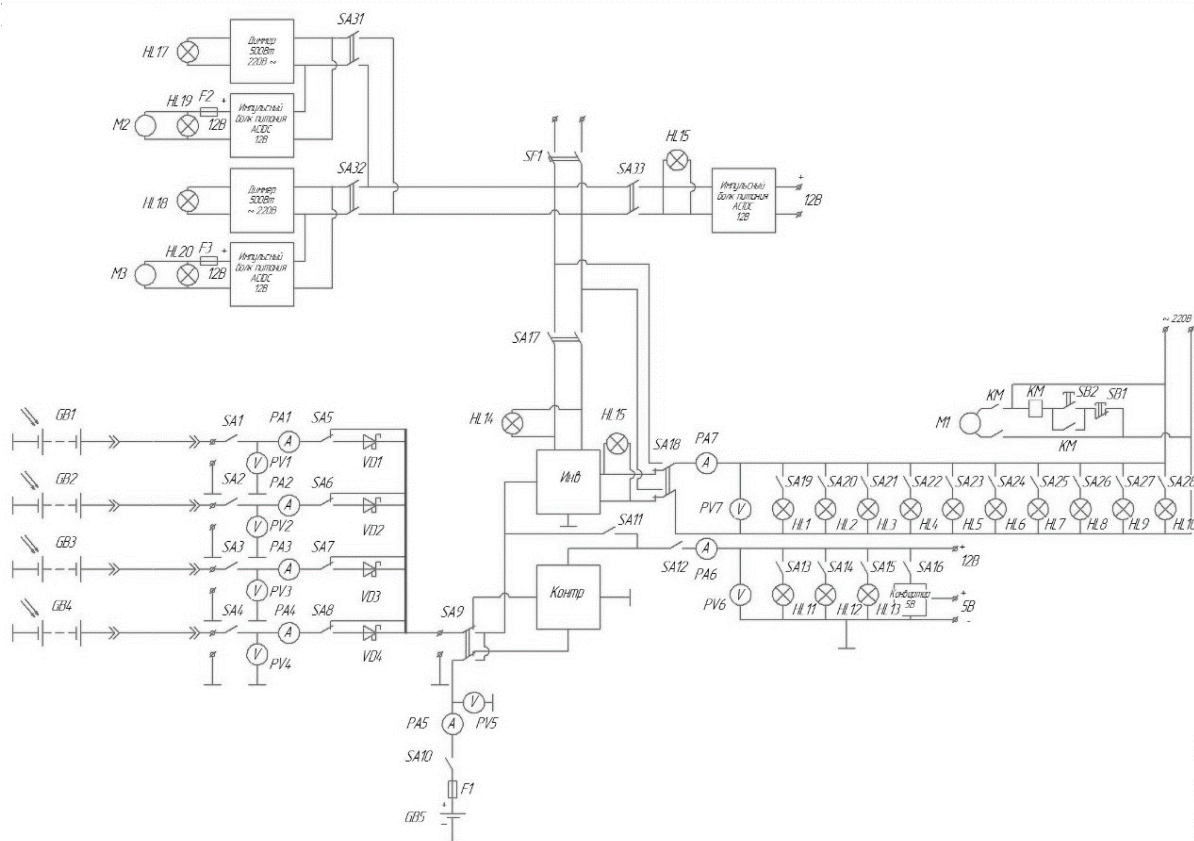


Рисунок 19 – Электрическая схема стенда

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ

Лист

51

5 Расчет токов короткого замыкания

5.1 Определение параметров схемы замещения. Составление схемы замещения

Произведем расчет параметров схемы замещения. Расчет будем проводить в именованных единицах, используя приближенное приведение. Использована методика по определению токов К.З. из [13], [14].

ЭДС солнечных батарей и аккумуляторов, В: $E_{СБ}=12$, $E_{АБ}=12$.

Определим сопротивления схемы замещения, мОм

Тумблеры:

SA1-8, SA11-12, SA33: $R=5$.

Кнопки:

SA13-16, SA19-28: $R=5$.

Пакетные переключатели:

SA9: $R=2$.

SA10: $R=1,25$.

SA18: $R=2$.

Переключатели:

SA17, SA31-32: $X=0,1$; $R=1,2$.

Автоматические выключатели:

SF1: $I=40A$; $X=0,5$; $R=1,1$.

Кабельная линия:

КБ1: $l_1 = 3$ м; $R = 22,65$.

КБ2: $l_1 = 1$ м; $R = 1,12$.

Солнечные батареи: $R_{СБ1}=2030$. $R_{СБ2}=1910$.

Аккумулятор: $R_{АКК}=400$.

Контроллер: $R_{\text{контроллер}} = 600$.

Инвертор обладает встроенной автоматической полупроводниковой быстродействующей системой защиты. При возникновении к.з. система защиты быстро реагирует на увеличение тока и срабатывает за благовре-

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		52

менно до возникновения ударного тока короткого замыкания. Поэтому при расчетах делается допущение, что сопротивление инвертора, а также прилегающей к нему коммутационной аппаратуры опускается. Кроме того, в виду малой величины нагрузок, можно пренебречь их сопротивлениями. Пренебрегаем сопротивлением диммеров, в силу отсутствия информации по ним.

На рисунке 20 представлена электрическая схема с указанными точками к.з. для расчёта.

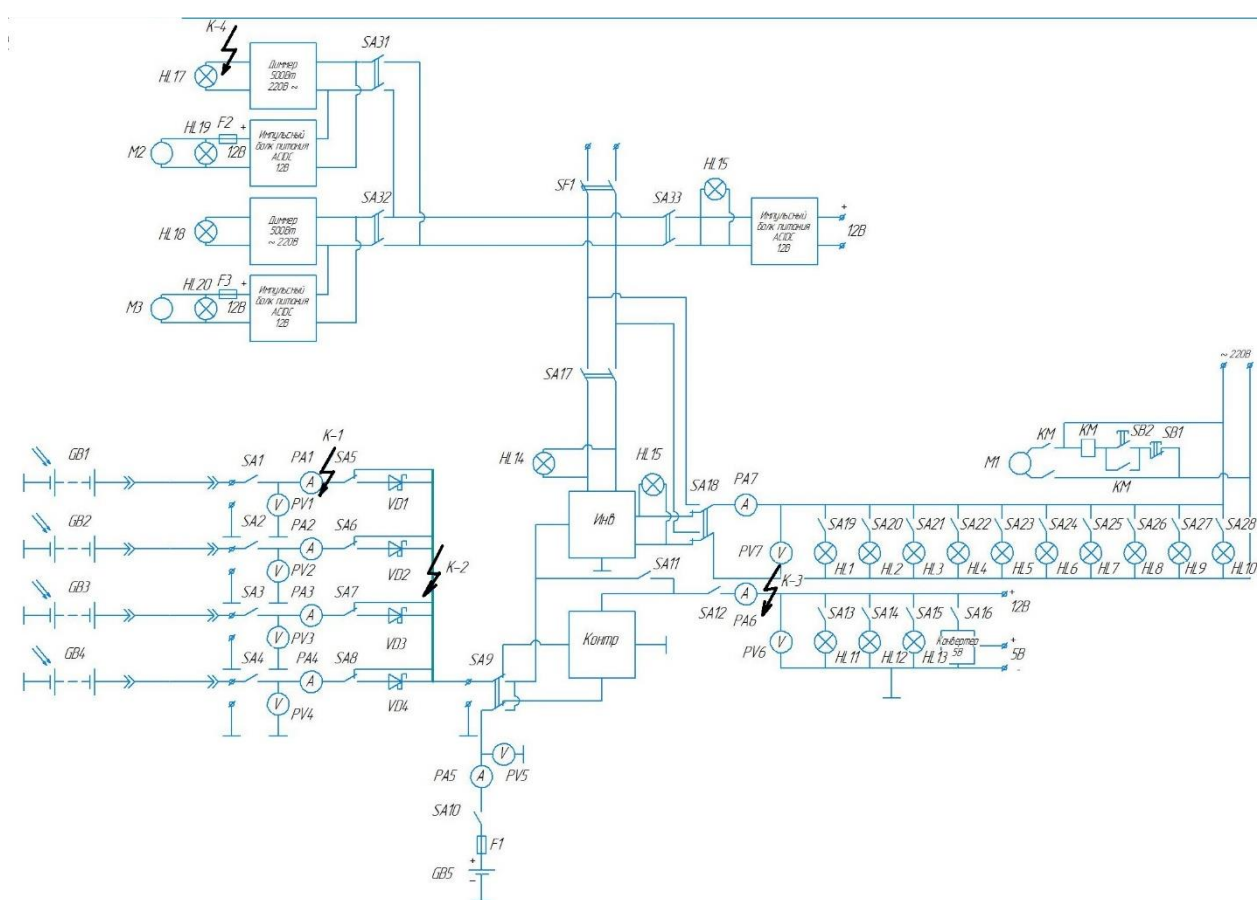


Рисунок 20 – Электрическая схема с указанными точками к.з.

Составим схемы замещения для расчетов токов короткого замыкания:

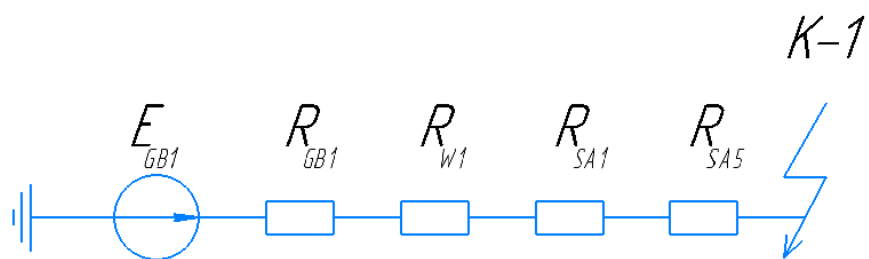


Рисунок 11 – Схема замещения для точки К – 1

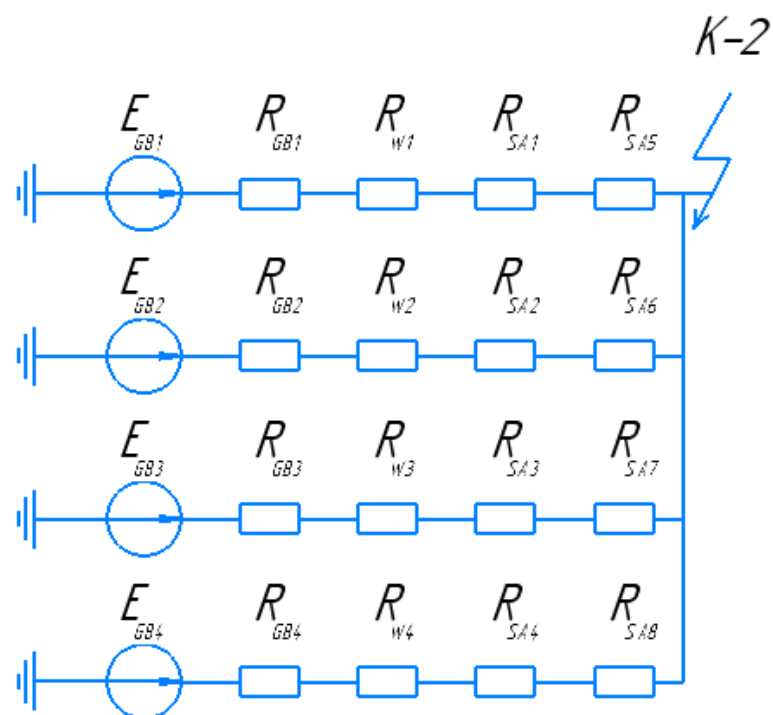


Рисунок 12 – Схема замещения для точки К – 2

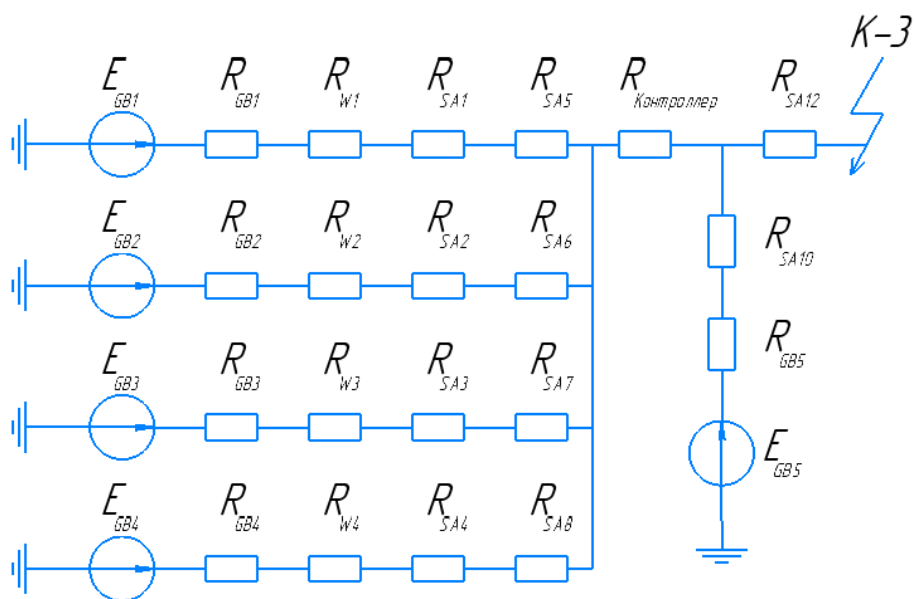


Рисунок 13 – Схема замещения для точки К – 3

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

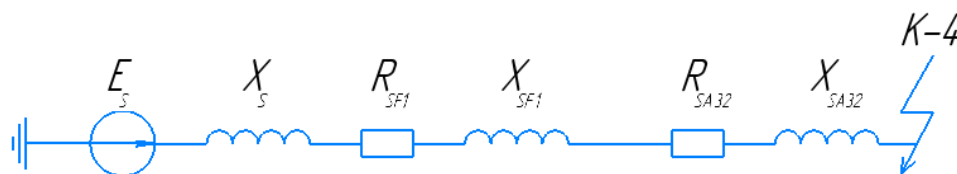


Рисунок 14 – Схема замещения для точки К – 4

5.2 Расчёт токов короткого замыкания для точки К-1

Преобразуем схему замещения для точки К-1:

Поскольку участок схемы работает на постоянном токе, значение тока к.з. определяется по закону Ома:

$$I_{K-1} = \frac{E_{\text{экв}}}{R_{\Sigma}}, \quad (5)$$

где $E_{\text{экв}}$ – эквивалентная ЭДС системы, В; R_{Σ} – эквивалентное активное сопротивление, Ом.

$$E_{\text{экв}} = E_{GB1} = 12B;$$

$$R_{\Sigma} = R_{GB1} + R_{W1} + R_{SA1} + R_{SA5} = 2030 + 22,65 + 5 + 5 = 2062,65 \text{ мОм}$$

Схема примет следующий вид:

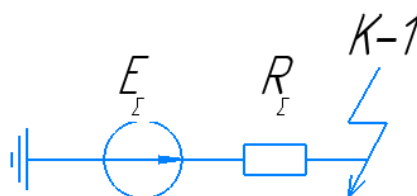


Рисунок 15 – Преобразование схемы замещения для точки К-1

Рассчитаем значение тока к.з.:

$$I_{K-1} = \frac{12}{2,062} = 5,82 A$$

5.3 Расчёт токов короткого замыкания для точки К-2

Преобразуем схему замещения для точки К-2:

Значения $R_{\Sigma 1}$ и $R_{\Sigma 2}$ возьмем из расчёта т.к.з. для К-1.

$$R_{\Sigma 1} = R_{\Sigma 2} = 2062,65 \text{ мОм}$$

$$R_{\Sigma 3} = R_{\Sigma 4} = R_{GB3} + R_{W3} + R_{SA3} + R_{SA7} = 1910 + 22,65 + 5 + 5 = 1942,65 \text{ мОм}$$

Схема примет следующий вид:

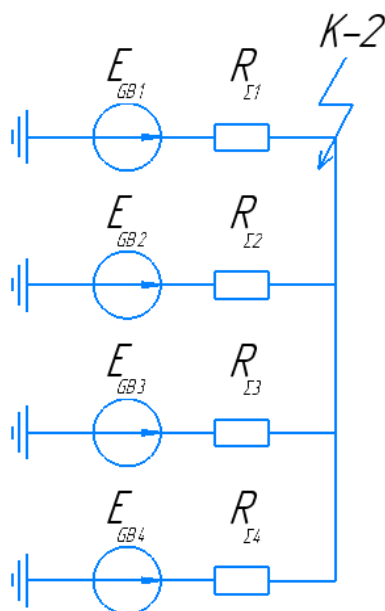


Рисунок 16 – Преобразованная схема замещения для точки К-2(1 этап)

$$R_{\Sigma} = \frac{R_{\Sigma 1} \cdot R_{\Sigma 3}}{2 \cdot R_{\Sigma 1} + 2 \cdot R_{\Sigma 3}} = \frac{2062,65 \cdot 1942,65}{2 \cdot 2062,65 + 2 \cdot 1942,65} = 500,21 \text{ мОм}$$

$$E_{\text{экв}} = R_{\Sigma} \cdot \left(\frac{2 \cdot E_{GB1}}{R_{\Sigma 1}} + \frac{2 \cdot E_{GB3}}{R_{\Sigma 3}} \right) = 0,5 \cdot \left(\frac{2 \cdot 12}{2,06} + \frac{2 \cdot 12}{1,94} \right) = 12,01 \text{ В} \quad (6)$$

Схема примет следующий вид:

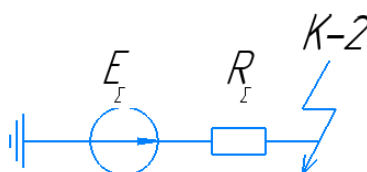


Рисунок 17 – Преобразование схемы замещения для точки К-2

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		56

Рассчитаем значение тока к.з.:

$$I_{K-2} = \frac{12,01}{0,5} = 24,02 A$$

5.4 Расчёт токов короткого замыкания для точки К-3

Преобразуем схему замещения для точки К-3:

Преобразование схемы до контроллера возьмем из расчета для К-2.

Схема примет следующий вид:

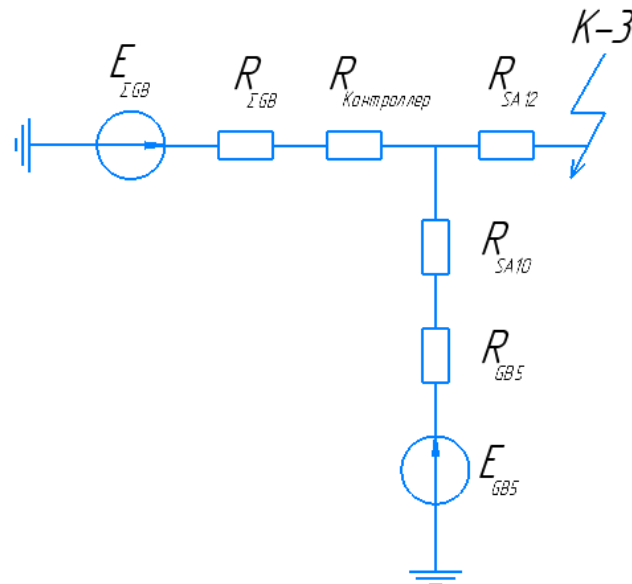


Рисунок 18 – Преобразование схемы замещения для точки к-3(1 этап)

$$R_{\Sigma 3} = \frac{(R_{\Sigma GB} + R_{\text{контр}}) \cdot (R_{GB5} + R_{SA10})}{R_{\Sigma GB} + R_{\text{контр}} + R_{GB5} + R_{SA10}};$$

$$R_{\Sigma 3} = \frac{(500,21 + 600) \cdot (400 + 1,25)}{500,21 + 600 + 400 + 1,25} = 294,019 \text{ мОм}$$

$$E_{\text{экв}} = R_{\Sigma 3} \cdot \left(\frac{E_{\Sigma GB}}{R_{\Sigma GB} + R_{\text{контр}}} + \frac{E_{GB5}}{R_{GB5} + R_{SA10}} \right) = 0,294 \cdot \left(\frac{12,01}{0,5 + 0,6} + \frac{12}{0,4} \right) = 12,03 B$$

$$R_{\Sigma} = R_{\Sigma 3} + R_{SA12} = 294,019 + 1,25 = 295,27 \text{ мОм}$$

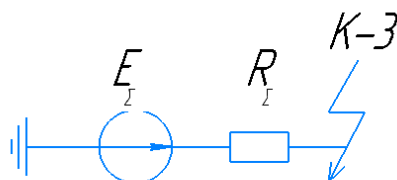


Рисунок 19 – Преобразованная схема замещения для точки К-3

Рассчитаем значение тока к.з.:

$$I_{K-3} = \frac{12,03}{0,295} = 40,78 A$$

5.5 Расчёт токов короткого замыкания для точки К-4

Преобразуем схему замещения для точки К-3:

Преобразование схемы до контроллера возьмем из расчета для К-2.

Схема примет следующий вид:

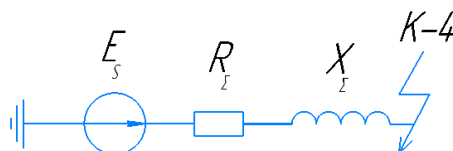


Рисунок 20 – Преобразованная схема замещения для точки К-4

$$R_{\Sigma} = R_{SF1} + R_{SA32} = 1,1 + 1,2 = 2,3 \text{ мОм}$$

$X_{\text{сист}}$ определим по формуле:

$$X_{\text{сист}} = \frac{U_{\text{сист}}^2}{S_{\text{к.з.}}}, \quad (7)$$

где $U_{\text{сист}}$ – номинальное напряжение системы, В; $S_{\text{к.з.}}$ – мощность короткого замыкания, Вт.

$$X_{\text{сист}} = \frac{220^2}{8000} = 6,05 \text{ Ом}$$

Поскольку значения остальных сопротивлений пренебрежимо малы, принимаем $X_{\Sigma} = X_{\text{сист}}$

Начальное значение периодической составляющей тока при металлическом КЗ определим по формуле:

$$I_{\text{п0}} = \frac{E_{\Sigma}}{\sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}; \quad (8)$$

$$I_{\text{п0}} = \frac{220}{\sqrt{0,0023^2 + 6^2}} = 36,36;$$

Наибольшее начальное значение аperiodической составляющей тока КЗ, А:

$$i_{\text{а0}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}}; \quad (9)$$

$$i_{\text{а0}} = \sqrt{2} \cdot 36,36 = 51,42 \text{ А};$$

Т.к. $X_{\Sigma} \gg R_{\Sigma}$, $k_{\text{уд}}$ принимаем равным 0,5.

Ударный ток КЗ, А:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}} \cdot \left(1 + e^{\frac{-t_{\text{уд}}}{T_a}} \right) = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}} \cdot k_{\text{уд}}; \quad (10)$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 36,36 \cdot 0,5 = 25,71 \text{ А};$$

Результаты всех расчетов сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Результаты расчета токов КЗ

Точка КЗ	$I_{\text{п0}}$, А	$I_{\text{уд}}$, А	$I_{\text{а0}}$, А
К-4	36,36	25,71	51,42
		$I_{\text{к.з.}}$	
К-1		5,82	
К-2		24,20	
К-3		40,78	

6 Выбор коммутационных аппаратов, кабелей и прочих элементов

6.1 Выбор коммутационных аппаратов

6.1.1 Выбор автоматических выключателей и разъединителей

Выбор автоматического выключателя производим по следующим условиям [15]:

Номинальному напряжению:

$$U_{ном} \geq U_{ном.сети}, \quad (11)$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение электрического аппарата, В;

$U_{ном.сети}$ - номинальное напряжение электрической бытовой сети, В.

Максимальному рабочему току:

$$I_{ном} \geq I_{раб.мах}, \quad (12)$$

где $I_{ном}$ - номинальный ток электрического аппарата, А;

$I_{раб.мах}$ - максимальный рабочий ток защищаемой цепи, А.

Отключающей способности

$$I_{откл.ном} \geq I_{по}, \quad (13)$$

где $I_{откл.ном}$ - номинальный ток отключения электрического аппарата, А;

$I_{по}$ - периодическая составляющая тока короткого замыкания, А.

Электродинамической стойкости

$$i_{дин.} \geq i_{уд}, \quad (14)$$

где $i_{дин.}$ - ток динамической стойкости электрического аппарата, А;

$i_{уд}$ - ударный ток короткого замыкания, А.

Выберем автоматический выключатель на входе в систему ($SF1$). Расчетные данные ТКЗ принимаем из таблицы 10.

Выбираем автоматический выключатель АВДТ D63-22C25A-УХЛ4(30мА), производства Курского электроаппаратного завода. Автоматы D63-22C25A-УХЛ4 – автоматический выключатель дифференциального тока на номинальный ток 25 А и номинальный отключающий дифференциальный ток 30 мА [11].

Электротехнические характеристики автоматического выключателя:

- количество полюсов: 2;
- номинальный ток I_n (А): 25 Ток, при котором устройство работает в нормальных условиях;
- частота тока (Гц): 50 Количество колебаний переменного тока в секунду;
- род тока: АС АС – переменный;
- DC – постоянный;
- АС/DC – переменный/постоянный;
- номинальное рабочее напряжение переменного тока U_e (В): 230;
- предельная коммутационная способность переменного тока I_{cu} (кА):6;
- номинальный отключающий дифференциальный ток (мА): 30;
- уставка расцепителей токов короткого замыкания: $5I_n$ - $10I_n$;
- вид расцепителей: тепловой и электромагнитный;
- характеристика диапазона отключения: C;
- потери мощности (Вт): 9;
- тип защитной характеристики по дифференциальному току: А;
- наличие защиты от сверхтоков: да;
- отключение нейтрали (N): да;
- общее количество защищенных полюсов: 2;
- категория перенапряжения: 3;

- класс токоограничения: 3;
- монтажные характеристики;
- способ крепления (монтажа): DIN-рейка;
- макс. сечение присоединяемых проводов (мм²): 25;
- возможность самостоятельного подключения дополнительных устройств: да.

Эксплуатационные характеристики:

- климатическое исполнение и категория размещения: УХЛ4;
- степень защиты (IP): IP20;
- диапазон рабочих температур (°C): от -25°C до +55°C;
- степень загрязнения: 3.

Габариты и материалы:

- габариты изделия: Ширина (мм): 36;
- габариты изделия: Высота (мм): 83,60;
- габариты изделия: Глубина (мм): 73,50.

Выберем тумблеры (SA1-SA8, SA33). Расчетные данные ТКЗ принимаем из таблицы 11. Выбираем KN3(B)-101A-A1 Тумблер ON-OFF (10A 250VAC) SPST 2P.

Выберем кулачковые переключатели (SA9, SA18). Согласно расчётным данным из таблицы 10, принимаем переключатель кулачковый на панель двухполюсный PSA040KD234S 40A 400VAC тип 1-0-2 и 1-2

Выберем пакетный переключатель (SA10). В соответствие с таблицей 11 и из соображений надёжности, выбираем пакетный выключатель ПВ2-63 исп.3 2П 63A 220В.

6.1.2 Выбор плавких предохранителей

Выбор плавких предохранителей осуществляем на основе данных, представленных в таблице 10, из расчета $I_{\text{раб}} \text{ предохранителя} = I_{\text{уд}}$ или $I_{\text{раб}} = I_{\text{к.з.}}$

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		62

Предохранитель F1 в цепи постоянного тока рядом с АКБ – выбираем AGU (AUE), 50 А, 10x38 мм.

Предохранитель F2 в цепи переменного тока в ветке, идущей на прожектора – выбираем H520 (ZH214), 20 А, 250В, 5x20 мм.

6.2 Выбор кабельных линий

В системах до 1 кВ разрешается осуществлять выбор кабельных линий по нагреву длительным током [13].

Условия выбора кабеля по нагреву длительным током [13]:

$$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{доп}} \quad (15)$$

Длительно допустимый ток с учетом поправок, А

$$I_{\text{доп}} = \kappa_1 \cdot n \cdot I_{\text{допн}}, \quad (16)$$

где κ_1 – поправочный коэффициент на температуру окружающей среды, $\kappa_1 = 1$ [22]; n – число кабелей.

В таблице 11 представлены допустимые длительные токи для проводов, шнуров и кабелей с резиновой изоляцией [13].

Таблица 11 – Допустимый длительный ток для проводов и шнуров с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с медными жилами.

Сечение	Ток, А, для проводов, проложенных					
токопроводящей	открыто	в одной трубе				
жила, мм ²		двух одно- жильных	трех одно- жильных	четырёх од- но-жильных	одного двух- жильного	одного трех- жильного
0,5	11	-	-	-	-	-
0,75	15	-	-	-	-	-
1	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250
150	440	360	330	-	-	-
185	510	-	-	-	-	-
240	605	-	-	-	-	-
300	695	-	-	-	-	-
400	830	-	-	-	-	-

6.2.1 Выбор кабельной линии от ФЭМ

$$I_{\text{доп}} = 1 \cdot 4 \cdot 27 = 108 \text{ А}$$

Согласно таблице 10, максимальный ток, протекающий через к.л. равен 5,82 А.

$$I_{\text{макс}} = 5,82 \leq I_{\text{доп}} = 108$$

Из соображений надежности выбираем двухжильный медный акустический кабель с сечением жилы 2,5 мм².

6.2.2 Выбор кабельной линии, соединяющей аккумуляторную батарею и инвертор

Длительно допустимый ток с учетом поправок, А

$$I_{\text{доп}} = 1 \cdot 1 \cdot 85 = 85 \text{ А}$$

Согласно таблице 11, максимальный ток, протекающий через к.л. равен 50,1 А.

$$I_{\text{макс}} = 50,1 \leq I_{\text{доп}} = 85$$

Выбираем двухжильный медный кабель с сечением жилы 16 мм² для повышения надёжности.

6.2.3 Выбор кабельной линии, соединяющую аккумуляторную батарею и инвертор

Длительно допустимый ток с учетом поправок, А

$$I_{\text{доп}} = 1 \cdot 2 \cdot 5,5 = 11 \text{ А}$$

Максимальный ток, протекающий через к.л. равен 5,0 А.

$$I_{\text{макс}} = 5 \leq I_{\text{доп}} = 11$$

Выбираем двухжильный медный кабель с сечением жилы 2,5 мм² для повышения надёжности.

6.3 Выбор клеммных колодок

Выбор клеммных колодок осуществляем на основе данных, представленных в таблице 10. Максимальный длительный ток, протекающий через колодки в цепи 220В равен 25,71 А.

Выбираем колодки клеммные 12п, 4п и 6п 35А ТС TDM.

Максимальный длительный ток через колодки в цепи аккумулятора - равен 40,78 А.

Выбираем колодки 4п 635А ТС TDM.

На рисунке 21 представлено фото всех закупленных клеммных колодок.

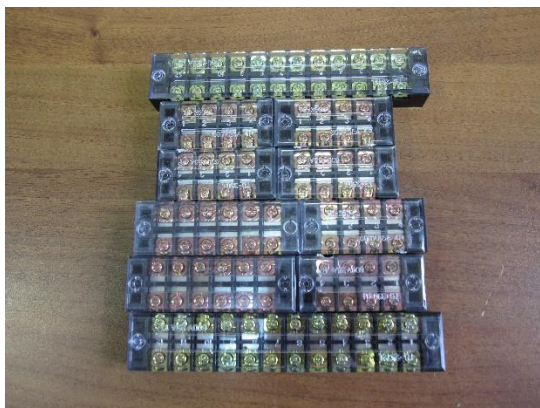


Рисунок 21 – Клеммные колодки

6.4 Выбор прочего оборудования, необходимого для моделирования солнечной электростанции

6.4.1 Выбор прожекторов, моделирующих инсоляцию

Для моделирования работы СЭС на экспериментальном стенде необходимо устойчивое и регулируемое освещение. Поэтому в ходе сборки стенда были предусмотрены специальные светоизолирующие шкафы для солнечных

модулей, предназначенные для снижения искажающего влияния внешнего освещения. Внутри шкафов устанавливаются прожекторы.

Выбор прожекторов осуществляется из расчета мощности солнечных модулей с учетом КПД, а также условий охлаждения.

Выбираем прожекторы NAVIGATOR 2x500Вт NFL-T2H2-500-R7s/BLY галогеновые.

Основные характеристики: Прочный литой корпус из алюминиевого сплава со стойким покрытием обеспечивает долгий срок службы. Закаленное и термостойкое защитное стекло выдерживает падение снега и дождя. Стальная хромированная решетка дополнительно защищает стекло от механических воздействий. Сетевой кабель длиной 3 метра в комплекте. Прожектор комплектуется высококачественными галогенными лампами Navigator.

Внешний вид прожекторов представлен на рисунке 22.



Рисунок 22 – Прожектор NAVIGATOR 2x500Вт NFL-T2H2-500-R7s/BLY галогеновый

6.4.2 Выбор регулирующих диммеров

Для регулирования мощности освещения при изучении поглощения панелями излучения используются диммеры.

Выбираем диммеры MAKEL Lillium Natural Kare, максимальная мощность 600Вт.

6.4.3 Выбор измерительных люкметров

Для измерения степени текущего освещения используем люкметры DT-1300. Внешний вид представлен на рисунке 23.



Рисунок 23 – Люксметр DT-1300

7 Экономическая часть проекта

7.1 Расчет капитальных затрат

Для определения капитальных затрат суммируем затраты на все комплектующие фотоэлектрической установки. Стоимость всех составных частей приведена в таблице 12.

Таблица 12 – Капитальные затраты на составные части ФЭУ

Наименование	Обозначение на схеме	Цена
1	2	3
Солнечная панель ФСМ-100М	GB1	8495
Солнечная панель ФСМ-100М	GB3	8495
Солнечная панель ФСМ-100П	GB2	6140
Солнечная панель ФСМ-100П	GB4	6140
Контроллер заряда аккумуляторных батарей EPSolar Tracer 2210A	C1	8060
Аккумулятор Delta GX12-40DG	GB5	7070
Прожектор NAVIGATOR 2x500Вт NFL-T2H2-500-7s/BLY	HL18-HL19	3597
Цифровой ампер-вольтметр SVAL0013NW-100V-E50A	PV1-PA1	939
Цифровой ампер-вольтметр SVAL0013NW-100V-E50A	PV2-PA2	939
Цифровой ампер-вольтметр SVAL0013NW-100V-E50A	PV3-PA3	939
Цифровой ампер-вольтметр SVAL0013NW-100V-E50A	PV4-PA4	939
Инвертор А-Э СТРАЖ-3000	И1	21020
АС Диммер 500 Вт	D1	600
АС Диммер 500 Вт	D2	600

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ

Лист

68

Продолжение таблицы – 12

1	2	3
KN3(B)-101AAP-A1, Тумблер ON-OFF (15A 250VAC) SPST 2P	SA1	62
KN3(B)-101AAP-A1, Тумблер ON-OFF (15A 250VAC) SPST 2P	SA2	62
KN3(B)-101AAP-A1, Тумблер ON-OFF (15A 250VAC) SPST 2P	SA3	62
KN3(B)-101AAP-A1, Тумблер ON-OFF (15A 250VAC) SPST 2P	SA4	62
KN3(B)-103AAP-A3, Тумблер ON-OFF-ON (15A 250VAC) SPST 3P	SA5	74
KN3(B)-103AAP-A3, Тумблер ON-OFF-ON (15A 250VAC) SPST 3P	SA6	74
KN3(B)-103AAP-A3, Тумблер ON-OFF-ON (15A 250VAC) SPST 3P	SA7	74
KN3(B)-103AAP-A3, Тумблер ON-OFF-ON (15A 250VAC) SPST 3P	SA8	74
Кулачковый переключатель КПУ11-63/53 (1-0-2 3p), TDM	SA9	1999
Пакетный выключатель ПБ2-63 исп.3 2П 63А 220В IP00, TDM	SA10	627
Тумблер ПП-45М 35а/27в	SA11	320
Тумблер ПП-45М 35а/27в	SA12	320
Выключатель клавишный круглый 12V 20A (3с) ON-OFF	SA13	44
Выключатель клавишный круглый 12V 20A (3с) ON-OFF	SA14	44
Выключатель клавишный круглый 12V 20A (3с) ON-OFF	SA15	44
Выключатель клавишный круглый 12V 20A (3с) ON-OFF	SA16	44
CA25-SS211N(R), Переключатель красный с подсветкой Ф25	SA17	950
Кулачковый переключатель КПУ11-25/52 (1-0-2 2p), TDM	SA18	599
Выключатель клавишный круглый 250V 6A (3с) ON-OFF	SA19	44
Выключатель клавишный круглый 250V 6A (3с) ON-OFF	SA20	44
Выключатель клавишный круглый 250V 6A (3с) ON-OFF	SA21	44
Выключатель клавишный круглый 250V 6A (3с) ON-OFF	SA22	44
Выключатель клавишный круглый 250V 6A (3с) ON-OFF	SA23	44
Выключатель клавишный круглый 250V 6A (3с) ON-OFF	SA24	44
Выключатель клавишный круглый 250V 6A (3с) ON-OFF	SA25	44
Выключатель клавишный круглый 250V 6A (3с) ON-OFF	SA26	44
Выключатель клавишный круглый 250V 6A (3с) ON-OFF	SA27	44
Выключатель клавишный круглый 250V 6A (3с) ON-OFF	SA28	44
Кнопка APBB-22N d22мм неон на 2пол. I-0 1з+1р [18], TDM	SA29	224
KN3(B)-201-A1, Тумблер ON-OFF (6A 250VAC) DPST 4P	SA30	65
CA25-SS211N, Переключатель желтый с подсветкой Ф25	SA31	330
CA25-SS211N, Переключатель желтый с подсветкой Ф25	SA32	330
KN3(B)-201-A1, Тумблер ON-OFF (6A 250VAC) DPST 4P	SA33	65
SR860 (SR806), Диод Шоттки 8А/150А 60В [ТО-220]	VD1	33
SR860 (SR806), Диод Шоттки 8А/150А 60В [ТО-220]	VD2	33
SR860 (SR806), Диод Шоттки 8А/150А 60В [ТО-220]	VD3	33
SR860 (SR806), Диод Шоттки 8А/150А 60В [ТО-220]	VD4	33
AGU (AUE), 50 А, 10х38 мм, Предохранитель	F1	95
H520 (ZH214), 20 А, 250В, 5х20 мм, Предохранитель (5 шт)	F2	25
H520 (ZH214), 6 А, 250В, 5х20 мм, Предохранитель (5 шт)	F3	25

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

СФУ ПМ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ

Лист

69

Окончание таблицы – 12

1	2	3
CQ-225, 10x38 мм, Держатель под предохранитель на панель	F1	200
ДВП4-2, Держатель предохранителя 5x20 30а 250v	F2	170
ДВП4-2, Держатель предохранителя 5x20 30а 250v	F3	0
N-XD10-8W-R, Лампа неоновая с держателем красная 220VAC	HL14	28
N-XD10-8W-Y, Лампа неоновая с держателем желтая 220VAC	HL15	28
N-XD10-8W-Y, Лампа неоновая с держателем желтая 220VAC	HL16	28
N-XD10-8W-Y, Лампа неоновая с держателем желтая 220VAC	HL17	28
DT-1300 Люксметр	-	1850
DT-1300 Люксметр	-	1850
SVAL0013PN-100V-E50A, Цифровой вольтметр (до 100В) + амперметр	PV5-PA5	880
SVAL0013PN-100V-E50A, Цифровой вольтметр (до 100В) + амперметр	PV6-PA6	880
75ШИП1-50-0.5, Шунт 50А 75мВ	PV1-PA1	340
75ШИП1-50-0.5, Шунт 50А 75мВ	PV2-PA2	340
75ШИП1-50-0.5, Шунт 50А 75мВ	PV3-PA3	340
75ШИП1-50-0.5, Шунт 50А 75мВ	PV4-PA4	340
75ШИП1-50-0.5, Шунт 50А 75мВ	PV5-PA5	340
75ШИП1-50-0.5, Шунт 50А 75мВ	PV6-PA6	340
FS60x34B-38x16, Лицевая панель черная	PV5-PA5	140
FS60x34B-38x16, Лицевая панель черная	PV6-PA6	140
L-814G, Светодиод с держателем зеленый 12V	HL18	63
L-814G, Светодиод с держателем зеленый 12V	HL19	63
L-814G, Светодиод с держателем зеленый 12V	HL20	63
Блок питания для светодиодной ленты 24W 12V 2A	T1	350
Выключатель автоматический ВА47-29 2п С 16А, TDM	SF1	178
Мультиметр "Овен" ИМС-Ф1 Ц1, шт	PV7-PA7	3894
Итого: 94112р.		

Затраты на монтажные работы составляют 15 % [14] от стоимости стенда:

$$K_{\text{МОНТ}} = K_{\text{СОСТ.ФЭУ}} \cdot 0,15, \quad (17)$$

где $K_{\text{СОСТ.ФЭУ}}$ – капитальные затраты на составляющие стенда, а также дополнительные материалы, руб.

$$K_{\text{МОНТ}} = 94112 \cdot 0,15 = 14117$$

Тогда капитальные затраты ФЭУ составят, тыс. руб.

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		70

$$K_{\text{ФЭУ}} = K_{\text{СОСТ.ФЭУ}} + K_{\text{МОНТ}}, \quad (18)$$

где $K_{\text{СОСТ.ФЭУ}}$ – то же, что и в формуле (38).

$$K_{\text{стенд}} = 94112 + 14116 = 108228$$

7.2 Определение основных технико-экономических показателей стенда

Рассчитаем основные технико-экономические показатели, характеризующие результат работы спроектированной фотоэлектрической установки. Капитальные затраты на изготовление составили 108228 руб.

Годовое потребление электроэнергии, кВт·ч

$$W_{\text{ГОД.ПОТР.}} = W_{\text{СУТ.}} \cdot 365, \quad (19)$$

где $W_{\text{СУТ.}}$ – Среднесуточное потребление электрической энергии,

$W_{\text{СУТ.}} = 1$ кВт·ч по данным графика нагрузки.

$$W_{\text{ГОД.ПОТР.}} = 1 \cdot 365 = 365 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Расчет для СЭС:

Рассчитаем удельные капитальные вложения, руб/кВт

$$\kappa = \frac{K_{\text{СЭС}}}{N_y}, \quad (20)$$

где N_y – установленная мощность ФЭУ, кВт,

$K_{\text{СЭС}}$ - капитальные затраты на СЭС. $K_{\text{СЭС}} = 108228$ руб.

$$\kappa = \frac{108228}{400} = 270570 \text{ р} / \text{кВт}$$

Выработка электроэнергии, кВт·ч

$$W_{\text{сэс}} = N_y \cdot H_y, \quad (21)$$

где N_y – то же, что в формуле (49), кВт,

H_y – число часов использования установленной мощности.

$$W_{\text{сэс}} = 0,4 \cdot 1500 = 600$$

Рассчитаем амортизацию, руб.

$$I_a = \frac{K_{\text{сэс}} \cdot H_a}{100}, \quad (22)$$

где H_a – норма амортизационных отчислений, равна 6 %[27],

$K_{\text{сэс}}$ – то же, что в формуле (27)

$$I_a = \frac{108228 \cdot 6}{100} = 6493,68$$

Затраты на ремонт, руб.,

$$I_{\text{рем}} = \frac{K_{\text{сэс}} \cdot H_a}{100}, \quad (23)$$

где H_a – норма отчислений на ремонт, равна 6 %[14].

$$I_{\text{рем}} = \frac{108228 \cdot 6}{100} = 6493,68$$

Прочие затраты, руб.

$$I_{\text{пр}} = K_{\text{сэс}} \cdot \alpha_{\text{пр}}, \quad (24)$$

где $\alpha_{\text{пр}} = 0,01$

$$I_{\text{пр}} = 108228 \cdot 0,01 = 1082,28$$

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Себестоимость электрической энергии, руб/кВт·ч

$$I_{\text{сэс}} = \frac{I_a + I_{\text{рем}} + I_{\text{пр}}}{W_{\text{сэс}}}, \quad (25)$$

$$I_{\text{сэс}} = \frac{6493,68 + 6493,68 + 1082,28}{600} = 23,45$$

Данная ФЭУ является лабораторным стендом, работает в автоматическом режиме и не требует дополнительного обслуживания. Частичное обслуживание данной установки осуществляется в процессе выполнения опытов и экспериментов. Следовательно, расчет заработной платы персонала не производится.

По результатам расчетов, можно сделать вывод, что данная фотоэлектрическая установка характеризуется достаточно большими удельными капитальными затратами на 1 кВт мощности и высокой себестоимостью электроэнергии – 23,45 руб./кВт·ч.

Однако фотоэлектрические модули имеют ряд важных преимуществ:

- их работа механически очень проста, нет вращающихся частей и не нужно эксплуатационного обслуживания, кроме периодической очистки поверхности солнечных панелей;
- солнечные панели вырабатывают электричество, которое может запасаться в аккумуляторных батареях и использоваться в зависимости от емкости аккумуляторной батареи;
- выработка электрической энергии фотоэлектрическим процессом совсем бесшумна и не производит никаких углекислотных и других токсических испарений в окружающую среду;
- фотоэлектрические солнечные панели незаменимы в труднодоступных и удаленных районах, где прокладывание линий электропередач экономически невыгодно.

Кроме того, сама установка не предназначена для выработки электроэнергии, соизмеримой с реальной ФЭУ, будет использоваться исклю-

чительно в учебных целях, выполняя при этом все заявленные функции. Таким образом, при данных обстоятельствах фотоэлектрическая установка может считаться рентабельной.

9 Компоновка оборудования стенда

9.1 Внешний вид шкафа имитации инсоляции

Для создания системы имитации инсоляции был спроектирован шкаф, препятствующий попаданию внешнего освещения.

Внешний вид шкафа представлен на рисунке 24.

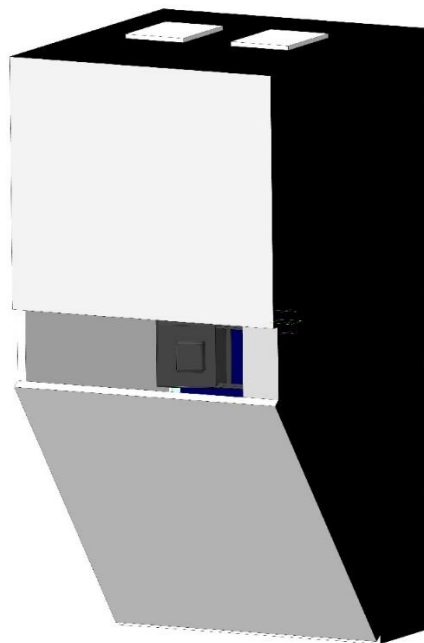


Рисунок 24 – Шкаф имитации инсоляции

9.2 Внешний вид пульта управления

Для управления работой стенда, наблюдением за параметрами системы, отображенными на измерительных приборах, включения и отключения частей электрической схемы и нагрузки и в целях наглядности был спроектирован специальный пульт управления.

Внешний вид пульта управления представлен на рисунке 25.

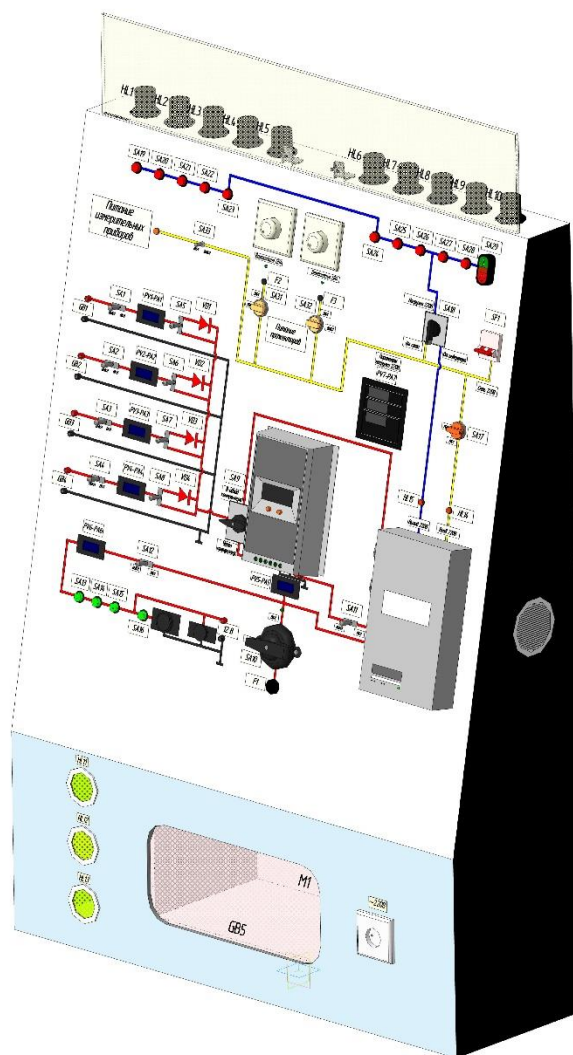


Рисунок 25 – Пульт управления

9.3 Общая компоновка оборудования стенда

Компоновка оборудования стенда представлена на рисунке 26.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ

Лист

75

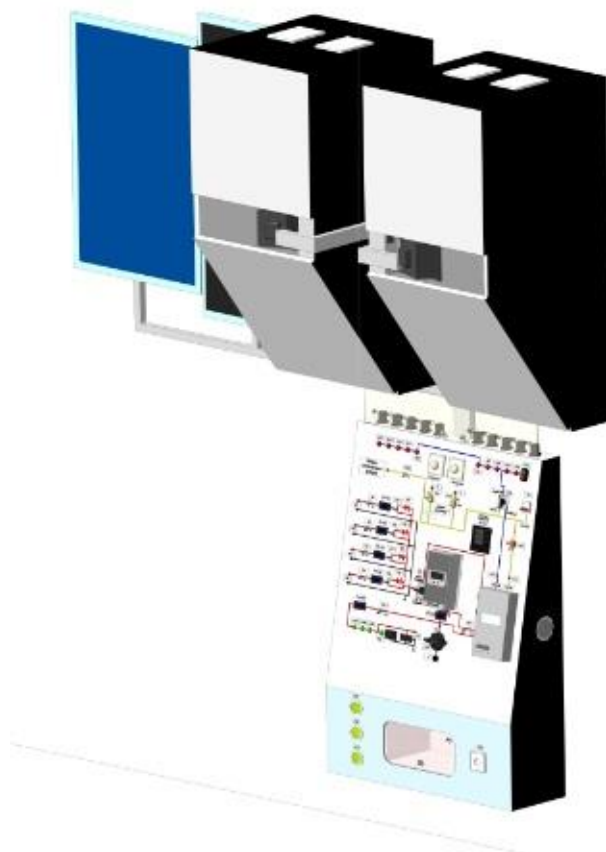


Рисунок 26 – Общий вид стенда, моделирующего работу солнечной электростанции

10 Безопасность и экологичность проекта

10.1 Защита от к.з., перегрузок и перенапряжений

На стенде установлена система защиты от к.з. и технологической перегрузки, выполненная заземляющим проводом на общую заземляющую шину кабинета.

Защита от грозовых перенапряжений не требуется, поскольку установка находится в помещении. Защита от перенапряжений сети также не требуется, так как перенапряжения внешней системы контролируются автоматическими выключателями, установленными в учебном корпусе.

10.2 Безопасность производственного оборудования

Безопасность производственного оборудования обеспечивается монтажными работами, соблюдением требований при эксплуатации, ремонте, транспортировании и хранении. Особое место в его безопасности

отводят проектному этапу. На этом уровне проектирования в конструкцию оборудования закладываются более пяти десятков различных требований безопасности в соответствии с положениями более двух десятков стандартов системы ССБТ и других нормативных документов [29].

Безопасность производственного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 12.0.001, ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.2.026 и ГОСТ 12.0.003 обеспечивают [30]:

- выбором принципов действия, конструктивных схем, безопасных элементов конструкции и т.п.;
- применением в конструкции безопасных материалов и веществ;
- применением в конструкции средств механизации, автоматизации и дистанционного управления;
- выполнением эргономических и эстетических требований;
- выбором безопасных органов управления;
- применением в конструкции средств защиты;
- соблюдением требований безопасности при эксплуатации, монтажных работах, транспортировании и хранении;
- размещением оборудования на площадке;
- профессиональным отбором и обучением работающих;
- выбором электрооборудования и конструкции оборудования с учетом пожарной безопасности;
- включением требований безопасности в техническую документацию по монтажу, эксплуатации, ремонту, транспортированию и хранению;
- контролем за соблюдением требований безопасности, правил эксплуатации и трудового законодательства по охране труда работающих.

Производственное оборудование должно быть пожаро- и взрывобезопасным и соответствовать требованиям безопасности в течение всего срока службы. Производственное оборудование при эксплуатации и в условиях, установленных эксплуатационной и ремонтной документацией по ГОСТ 2.601 и ГОСТ 2.602, не должно создавать опасности в чрезвычайных ситуациях в результате воздействия влажности, высокой температуры, солнечной радиации, механических колебаний, высоких и низких давлений, агрессивных веществ, ветровых нагрузок, обледенения и других негативных факторов, которые имеют место при чрезвычайных ситуациях.

10.3 Безопасность элементов конструкции солнечной установки

При эксплуатации электроустановки, ее безопасность обслуживания предусмотрена за счет нижеперечисленных мероприятий.

Провода, кабели защитить изоляцией, не поддерживающей горение.

Основные способы защиты от статического электричества следующие: заземление оборудования; увеличение поверхностей проводимости диэлектриков; увлажнение окружающего воздуха; ионизация воздуха или среды нейтрализаторами статического электричества; подбор контактных пар [31].

При чистке отсоединяем все электрические контакты.

Во время работы с АБ для защиты глаз использовать специальные очки.

Избегать случайного прикосновения металлического инструмента к клеммам АБ, во избежание короткого замыкания [15].

Для защиты кабелей и конечных потребителей от перегрузки и короткого замыкания применить автоматические выключатели.

Безопасность гелиосистемы достигается применением контроллера, который управляет процессом преобразования энергии солнца и контролирует общее состояние гелиосистемы.

10.4 Эргономика и техническая эстетика

Солнечные модули выполнены в виде тонких панелей, имеющих защитное покрытие из текстурированного закаленного стекла, и заключенных в каркас из алюминиевого профиля.

Узкие рамки между элементами обеспечивают однородность всей поверхности и приятную эргономику.

Солнечные шкафы, а также стенд выполнены в приятных цветах, нагрузка, выполненная лампами, огорожена оргстеклом в защитных целях. На стенд нанесена электрическая схема в целях наглядности. Надписи выполнены четким и понятным шрифтом.

Помимо удобства в эксплуатации, дизайн стенда и шкафов выполнен исключительно стильно.

10.5 Пожаробезопасность

Все токоведущие части и элементы изолированы негорючими материалами. Части, выполненные из ДСП покрыты вододисперсионной краской.

Комплект оборудования соответствует всем нормам пожарной безопасности.

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
						79
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

10.6 Заключение о безопасности и экологичности проекта

Солнечная установка не является источником экологической опасности, фотоэлектрические модули загерметизированы, экологически чисты и бесшумны в процессе производства электроэнергии.

Для обеспечения безопасности персонала, разработаны организационные, инженерно-технические и прочие мероприятия, направленные на создание безопасных условий труда.

При внедрении данной установки в работу и выполнении предлагаемых мероприятий с соблюдением всех нормативных и законодательных актов проект будет относительно безопасным и экологичным.

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
						80
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении выпускной квалификационной работы был спроектирован стенд, моделирующий работу солнечной электростанции.

Для этого, было выбрано подходящее современное оборудование, соответствующее надежности и экономичности, отвечающее рассчитанным токам короткого замыкания и выполняющее все возложенные на него функции.

Стенд был выполнен максимально эргономично и наглядно, а также с соблюдением всех норм электро- и пожаробезопасности.

Экономически были выявлены основные капитальные вложения в изготовление стенда, а также издержки на его содержание и амортизация основного оборудования.

Для оценки перспективности проекта был приведен расчет себестоимости электрической энергии. Однако в силу специфики предназначения стенда, перспективность проекта следует оценивать не исходя из себестоимости электроэнергии, а из практической пользы, получаемой при использовании данной установки.

Стенд позволяет исследовать закономерности, наблюдаемые в процессе генерации электроэнергии солнечными панелями, а также процессы, происходящие в ФЭУ, в том числе преобразования энергии, ее распределение и потребление нагрузкой.

Данный стенд иллюстрирует все стадии получения, распределения и потребления солнечной энергии и является автономной установкой. Он может использоваться в процессе обучения студентов, для проведения практических и научных работ, является полноценным исследовательским оборудованием. Это подтверждает его практическую, научную и эстетическую ценность и оправдывает силы и средства, вложенные в его изготовление.

Данный стенд находится по адресу г. Красноярск, ул. Ленина, д. 70, аудитория «А104», готов к эксплуатации и изучению.

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
						81
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Грядущее постиндустриальное общество. Опыт социального прогнозирования / Перевод с английского под редакцией В.Л.Иноземцева. – Москва, 2001.

2 Мировое потребление электроэнергии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html>

3 История развития солнечной энергетики [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://studopedia.ru/17_86108_istoriya-razvitiya-solnechnoy-energetiki.html

4 Гелиоэнергетика : учеб. пособие / Р. Б. Ахмедов, И. В. Баум, В. А. Пожарнов, В. М. Чаховский; под. ред. А. И. Михайлов; Москва. Всесоюз. инст. научн. и техн. инф. – Москва: ВИНТИ, 1986. – 116 с.

5 Куликова Л. В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб. пособие для вузов / Л. В. Куликова, Ю. А. Меновщиков. – Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. Новосибирский гос. аграрный ун-т. – Барнаул: АлтГТУ, 2005. – 365 с.

6 Список солнечных электростанций России [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_солнечных_электростанций_России

7 Солнечная энергетика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=17172> – Загл. с экрана.

8 Сравнение монокристаллических и поликристаллических солнечных батарей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.solnechnye.ru/batareya/monokristallicheskie-polikristallicheskie-panely.htm>

9 Ваш солнечный дом [Электронный ресурс]: Интернет – магазин. – Режим доступа: <http://www.solarhome.ru/>

10 Иванова И. Ю. Малая энергетика севера: проблемы и пути развития / И. Ю. Иванова, Т. Ф. Тугузова, С. П. Попов, Н. А. Петров – Новосибирск: Наука, 2002. – 188 с.

11 Жуков, В. В. Короткие замыкания в электроустановках постоянного тока / В. В. Жуков. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 160 с.

12 ГОСТ 29176-91. Короткие замыкания в электроустановках. – Введ. впервые; дата введ. 01.07.92. Переиздание – ноябрь 2004 г.

13 Рожкова, Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для сред. проф. образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. – М.: Академия, 2005. – 448 с.

14 Финоченко, В.А. Выполнение экономической части дипломных проектов: Метод. указания для студентов специальности 1001 / В.А. Финоченко; КрПИ. – Красноярск, 1987. – 36 с.

15 Тремясов, В. А. Проектирование электрических станций: Учеб. пособие/ В. А. Тремясов. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 286 с.

17 Удалов С. Н. Возобновляемые источники энергии: учеб. / С. Н. Удалов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 432 с.

18 Развитие солнечной энергетики в России [Электронный ресурс]: Энерг. центр – Москва : Мега Дом, 2009. – Режим доступа: <http://www.energycenter.ru/razdel/1/>. – Загл. с экрана.

19 Грихилес В. А. Солнечные космические электростанции: учеб. пособие для вузов / В. А. Грихилес.– Л.: Наука, 1986. – 182 с.

20 Мейтин М. Фотовольтаика: материалы, технологии, перспективы. [Электронный ресурс]: многопредмет. научн. журн. / ЗАО РИЦ – Электрон. журн. – Москва : «Техносфера», 2003. – Режим доступа: http://www.electronics.ru/about_media. – Загл. с экрана.

21 СНиП 23-01-99. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Строительная климатология.– Введ. впервые; дата введ. 01.05.1999. - М.: ФГУП ЦПП, 1999. – 74 с.

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		83

22 Автоматические выключатели до 1000 В [Электронный ресурс]: прайс-лист. – Режим доступа: http://www.iek.ru/upload/pictures/katalogi/VA88_tech-cat_passw.pdf – Загл. с экрана.

21 Выбор электрических проводников [Электронный ресурс]: прайс-лист. – Режим доступа: <http://www.cps.by/public/g1.3.pdf>. – Загл. с экрана.

22 Герасимов В. Г. Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 3, 2 Производство, передача и распределение электрической энергии / В. Г. Герасимов, А. Ф. Дьяков, Н. Ф. Ильинский, В. А. Лабунцов, В. П. Морозкин, И. Н. Орлов, А. И. Попов, В. А. Строев. – Изд. 9-е, стер. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.

23 Лапкаев, А. Г. Безопасность и экологичность проекта : Метод. указания по дипломному проектированию / А. Г. Лапкаев. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003. – 28 с.

24 ГОСТ 12.0.001-82. Система стандартов безопасности труда. Основные положения. – Введ. впервые; дата введ.01.07.83. – М.: ИПК Издательство стандартов , 1983. – 11 с.

25 ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – Введ. впервые; дата введ.15.05.81. – М.: ИПК Издательство стандартов , 1981. – 16 с.

26 СНиП 31-03-2001. Производственные здания. – введ. 01.01.2002. – М.: ФГУП ЦПП, 2002. – 44 с.

27 ГОСТ 12.4.026-76. Цвета сигнальные и знаки безопасности. – Введ. впервые; дата введ.24.05.76. – М.: ИПК Издательство стандартов , 1976. – 37 с.

28 ГОСТ 12.1.004-94. Пожарная безопасность. Общие требования. – Введ. впервые; дата введ.12.09.94. – М.: Стандартиформ , 1994. – 37 с.

29 ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. – Введ. впервые; дата введ.18.11.74. – М.: ИПК Издательство стандартов , 1974. – 25 с.

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		84

30 СТО 4.2–07–2010 Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной и научной деятельности. – Введ. впервые; дата введ. 14.07.2010. – Красноярск: ИПК СФУ, 2010. – 57 с.

					СФУ ПИ ВКР 13.03.02.03 – 071400543 – ПЗ	Лист
						85
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		